

УДК 622.742:621.926:621.3.06

**Є. С. Лапшин**, д.т.н., пров.н.с., ORCID 0000-0002-5443-5566**О. І. Шевченко**, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0002-3759-7889*Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України*

## **АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗНЕВОДНЕННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ЗА КРУПНІСТЮ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ПРИ ТОНКОМУ І НАДТОНКОМУ ВІБРАЦІЙНОМУ ГРОХОЧЕННІ**

**Анотація.** Стаття спрямована на вивчення нових технічних рішень для зневоднення й класифікації за крупністю при тонкому та надтонкому вібраційному грохоченні мінеральної сировини. Показано, що вміст вологи в багатьох продуктах обмежений ГОСТом або тимчасовими нормами. Вода є баластом під час їх перевезень. Надмірна кількість води сприяє замерзанню сировини в зимових умовах та викликає великі труднощі при вивантаженні їх із вагонів. Традиційні методи дозволяють ефективно розділяти лише матеріали з розмірами частинок понад 1 мм, а вологість готового продукту знизити до 18-22% залежно від крупності, що не відповідає необхідним нормам. Необхідне зниження вологи до 8-10% і менше. Крім того, переробка різної сировини в більшості випадків вимагає одночасно зі зневодненням розділення продуктів широкого спектра крупності. Для подолання сил зчеплення між вологими частинками використовують різні збудження, одним із яких є комбіноване, яке забезпечує інтенсивне переміщення рідини та частинок щодо один одного. Під комбінованим мається на увазі збудження з різними поєднаннями полічастотних, імпульсних динамічних впливів, також можливі і додаткові впливи різних фізичних полів. Використання полічастотних та імпульсних динамічних («одиначні удари») впливів на вібраційному полічастотному грохоті МВГ2.0 дозволяє ефективно виділяти тверду фазу з рідкої при очищенні зворотньої води крупністю частинок від 20 мкм. При цьому залишкова волога у надрешітному продукті становить не більше 17%. Метод комплексного зневоднення вологої мінеральної сировини, що поєднує три механізми зневоднення (вібраційний, електрокінетичний і вакуумний), зосереджених в одному пристрої дозволяє при різній початковій вологості сировини зменшувати вологість з 30 до 16%, з 20 до 14% і з 10 до 10%, тобто у кілька прийомів знизити вологість із 30 до 6%. Ці результати отримані для вузьких класів крупності 0,25-0,63 мм. Використання режимів з «подвійними ударами», активатора і дезінтегруючих елементів у новому віброударному грохоті дозволили знизити вологість з 30% до 8-10%. Ефективність відокремлення класу +0-0,1 мм становила до 65-70%. При використанні активатора вологість матеріалу зменшена з 30 до 7-9%, а ефективність відділення класу +0-0,1 мм збільшена до 70-75%. За рахунок застосування над активатором дезінтегратора досягнуто зниження вологості надрешітного продукту до 6-8%, при цьому ефективність відокремлення класу +0-0,1 мм підвищилася до 75-80%. Експериментальним методом на моделі віброударного грохоту для різних класів крупності визначено умови, за яких забезпечується максимальне вилучення класу +0-0,1 мм та зниження вологості. В даний час ведуться роботи спрямовані на створення віброударного грохоту, в якому

буде реалізовано розширення спектра впливу на матеріал, що переробляється, збільшення ресурсу роботи грохоту, можливості оперативного автоматичного управління, підвищення стабільності роботи і при цьому простота конструкції.

**Ключові слова:** полічастотна та імпульсна динамічна дія, комплексне зневоднення, віброударний режим з «подвійними ударами», розділення за крупністю, зневоднення.

**Посилання для цитування:** Лапшин Є. С., Шевченко О. І. Аналіз технічних рішень для зневоднення та класифікації за крупністю мінеральної сировини при тонкому і надтонкому вібраційному грохоченні. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 507-521. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-507-521.

**Сучасний стан проблеми.** Вібраційне грохочення широко застосовується в гірничій, металургійній, хімічній та багатьох інших галузях, які зв'язані з переробкою сипкої мінеральної сировини шляхом її розділення за крупністю й зневоднення. Ефективність і продуктивність цього процесу істотною мірою визначає якість і собівартість продукції, тому не випадково увага багатьох дослідників спрямована на його удосконалювання. Зневоднення мінеральної сировини на вібраційних грохотах відбувається в результаті проходження рідини через шар частинок і отвори поверхні, що просіває. У сипучих середовищах розрізняють кілька видів вологи. Стосовно грохочення найбільш енергоємним є видалення капілярно-стикової води (капілярно-стикових містків) [1, 2]. Традиційні способи грохочення дозволяють залежно від великої кількості матеріалу знизити вологість мінеральної сировини лише до 18-25%. Особливо важкі ці процеси, коли переробляються матеріали широкого спектру крупності і водночас із зневодненням потрібно розділення за крупністю [3].

Ефективне грохочення забезпечується за розміром частинок більше 1 мм. Поділ матеріалів крупністю менше ніж 1 мм традиційними методами не дає високих результатів, а при розмірі частинок менше ніж 0,2 мм практично неможливо. Особливу складність становить переробка широких класів крупності, коли необхідно відокремити тонкі класи (зазвичай, некондиційний продукт) і максимально зневоднити готовий (надрештний) продукт (наприклад, під час переробки рудних і вугільних шламів, будівельних пісків, тощо) [3].

Тому необхідний пошук рішень для ефективного поділу за крупністю та зневоднення мінеральної сировини, а завдання, пов'язані з цими рішеннями, безсумнівно, актуальні. Особливо це важливо при тонкому та надтонкому грохоченні.

**Метою роботи** є проведення аналізу технічних рішень для зневоднення та класифікації за крупністю при тонкому та надтонкому вібраційному грохоченні.

Значний внесок у створення, розробку та впровадження нових конструкцій грохотів зробили вчені і інженери таких інститутів та організацій, як Гіпромашзбагачення (м. Дніпро), Гіпромашвуглезбагачення (м. Луганськ), ВП «Вуглезбагачення» ДП «НТЦ «Вуглеінновація» (м. Дніпро), ІТТМ ім. М.С. Полякова НАН України, НТУ «Дніпровська політехніка», Національна металургійна академія України (НМетАУ). З іноземних фахівців у створенні вібраційних засобів для поділу та зневоднення сипких середовищ, у тому числі тонкодисперсних матеріалів, працюють фахівці таких фірм, як «Репіфайн» та «Деррік» (США), «KROOSH Technologies» (Ізраїль), «Ревум», «Шенк», «Уде», ВМФ, АЕФ (Німеччина), «Фурукава» (Японія), Механобр, ІОТТ (Росія) та інші.

Достатньо детальний огляд конструкцій грохотів і поверхонь, що просівають, наведено в статті [6]. У ній зазначено, що в традиційних грохотах при поділі і зневодненні використовують режими, коли матеріалу, який знаходиться на поверхні, що просіває, повідомляють періодичні удари, які забезпечують його відрив і розпушення. Наступний удар наноситься, коли матеріал повертається на поверхню, що просіває (режими з «одиначними ударами»). Однак, як показала практика, цей же матеріал перешкоджає видаленню води з поверхні, яка утримується в її отворах силами поверхневого натягу, а також очищенню від застряглих частинок, що знижує ефективність зневоднення. Слід зазначити також, що при тонкій і надтонкій класифікації на традиційних грохотах матеріалів широкого спектру крупності відсутність додаткових прискорень на поверхні, що просіває, призводить до недостатнього розпушування, налипання матеріалу, забивання отворів частинками і, як наслідок, низької ефективності класифікації та зневоднення. Тому такі грохоти дозволяють в залежності від крупності знизити вологість мінеральної сировини лише до 18–22 % [3, 4].

Серед факторів, що впливають на ефективність цього процесу, слід зазначити таке:

- зневоднення сировини відбувається в результаті проходження рідини через її шар і отвори поверхні, що просіває. При розділенні за класом, меншим, ніж капілярна постійна, цьому процесу перешкоджають діючі на межі фаз сили поверхневого натягу (капілярні сили) і які можна подолати за рахунок динамічного впливу, наприклад, за рахунок розрідження під ситом або збільшення прискорення;

- матеріал, який знаходиться на поверхні, що просіває, також знижує ефективність впливу на частинки і воду, які знаходяться в її отворах [4, 5].

Засоби підвищення ефективності зневоднення та поділу за крупністю:

- розширення спектра дії на поверхню, що просіває, і сировину, що переробляється. Широкий спектр забезпечує збудження своїх коливань частинок, рідини та поверхні. Для цих цілей, як правило, використовують удар безпосередньо по поверхні, що просіває, або через проміжний

елемент;

- розширення спектра на поверхню, коли сировина не контактує з нею, тобто на етапі її польоту внаслідок удару;

- при проектуванні або адаптації обладнання для конкретного виду сировини необхідно мати можливість вибору та розрахунку його раціональних конструктивних та режимних параметрів;

- розширення можливості оперативного управління, підвищення стабільності роботи, автоматичного управління і при цьому простота конструкції [4, 5].

Для подолання сил зчеплення між вологими частинками використовують різні режими збудження, одним із яких є комбіноване, що забезпечує інтенсивне переміщення рідини та частинок щодо один одного. Під комбінованим мається на увазі збудження з різними поєднаннями полічастотних, імпульсних динамічних впливів, також можливі і додаткові дії різних фізичних полів [3, 4].

Відмінною особливістю таких вібраційних механізмів є підвищений рівень прискорень та збудження нелінійних коливань їхніх робочих органів. Крім цього є й інші суттєві фактори, що впливають на ефективність технологічних операцій, які здійснюють вібраційними машинами [3-5].

У цій роботі розглядаються досвід та пропозиції щодо зневоднення та поділу за крупністю продуктів збагачення на вібраційних грохотах при тонкому та надтонкому грохоченні.

**Основні результати наукових досліджень.** Фахівцями ІГТМ ім. М.С.Полякова НАН України приділяється велика увага питанням підвищення ефективності зневоднення та поділу за крупністю при тонкому та надтонкому грохоченні, про що говорять виконані останнім часом роботи.

У статтях [7-10] наведено інформацію про вібраційний полічастотний грохот МВГ.

Грохот (рис. 1) складається з короба 1 масою  $m_1$ , ударника 2 масою  $m_2$  для збудження віброударних коливань, сита та сипучого середовища на ситі 3 загальною масою  $m_3$ . Короб 1 встановлений на нерухомій підставі 4 за допомогою двосторонніх зв'язків (пружно демпфуючих елементів Фойхта) 5, жорсткість та коефіцієнт демпфування яких позначені відповідно  $cr_{10}$  і  $bp_{10c}$ . Усередині короба закріплені пружне сито (жорсткість  $cr_{13}$ , коефіцієнт демпфування  $bp_{13}$ ), а також ударник, встановлений із зазором  $\delta'_{32}$  для збудження віброударних коливань.

Ударник прикріплений до короба за допомогою двосторонніх зв'язків 6 (жорсткість  $cr_{21}$ , коефіцієнт демпфування  $bp_{21}$ ) і оснащений еластичними буферами 7 (жорсткості  $cr_{12}$ ,  $cr_{21}$ , коефіцієнти демпфування  $br_{12}$ ,  $br_{21}$  відповідно), а короб – односторонніми (неутримуючими) обмежувачами 8 переміщення ударника 2. Між буферами та обмежувачами у стані спокою системи встановлюються зазори  $\delta'_{21}$  та  $\delta'_{12}$ . Коливання короба грохоту

збуджуються дебалансним віброзбудником 9, кругова частота обертання дебалансів якого дорівнює  $\omega$ , а амплітуда примусової сили –  $q_1$ . Коливання сита та сипучого середовища в основному збуджуються внаслідок віброударної взаємодії сита з ударником [10].

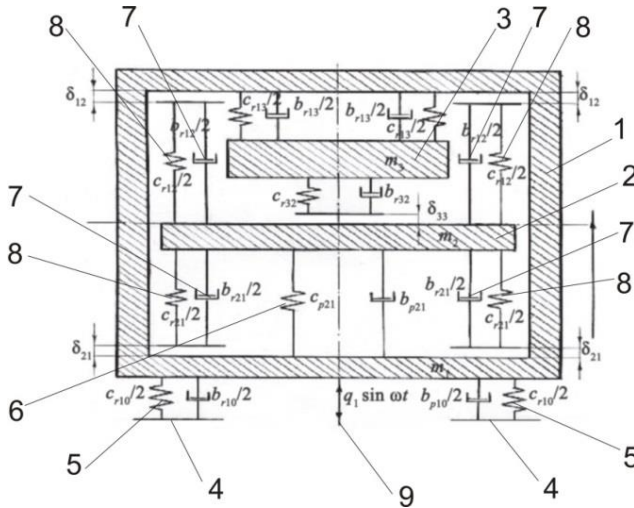


Рисунок 1 – Схема вібраційного полічастотного грохота [10]:  
 1 – короб; 2 – ударник; 3 – сито та сипуче середовище на ситі;  
 4 – основа; 5 та 6 – двосторонні зв'язки; 7 – еластичні буфери;  
 8 – обмежувачі переміщення ударника; 9 – дебалансний віброзбудник.

Коливання сит у грохотах МВГ здійснюються від дебалансних інерційних віброзбудників, які широко застосовуються в типових вібраційних грохотах [7-10].

Віброзбудники закріплені на коробі грохоту. При їх збудженні гармонічні коливання коробка з прискореннями не більше кількох десятків  $m/c^2$  в пружно-механічних віброударних системах, закріплених також на коробі, за рахунок резонансних явищ посилюються до сотень і більше  $m/c^2$ , перетворюються на полічастотні та через робочі органи (ударники) передаються на сита і сипуче середовище, що розділяється. При цьому в грохоті до значних прискорень схильні лише робочі органи і сита, інші вузли грохоту розвантажені, що забезпечує їх довговічність. На відміну від типових грохотів, тонке сито на грохоті МВГ встановлене на коробі без натягу, що збільшує його відносну довговічність. Оскільки грохоти МВГ є двомасовими зарезонансними системами, то значно знижуються коливання коробка на опорну поверхню, що забезпечує їхню установку без закріплення на підставі, у тому числі на перекриттях будівель та споруд, та необхідного

облаштування спеціальних фундаментів [7-10].

При коливаннях поверхні, що просіває, і сипучого середовища на поверхні з частотним спектром, який збігається зі спектром власних коливань зв'язаних частинок, відбувається постійне і повне самоочищення від частинок прилиплих і застряглих в отворах поверхні, що просіває. Все це забезпечує ефективне розділення тонкодисперсних частинок за крупністю. Крім того, при цьому забезпечуються додаткові інтенсивні силові дії на частинки у шарі, викликані резонансними переміщеннями зв'язаних частинок, що сприяє інтенсивному переміщенню і сегрегації всіх частинок у шарі. При підвищенні сил зчеплення між тонкодисперсними частинками за рахунок зменшення їх крупності та підвищення вологості до 10 % рівень прискорень робочого органу вібраційного полічастотного грохоту необхідно збільшувати і для тонкодисперсних середовищ з розміром частинок не менше 20 мкм прискорення, що забезпечують ефективний поділ частинок, не перевищує  $450 - 500 \text{ м/с}^2$  [7-10].

На цих машинах також використовуються «поодинокі удари».

У роботі [11] авторами наведено результати досліджень при використанні вібраційного полічастотного грохоту МВГ2.0 для поділу за крупністю тонкодисперсних середовищ, виділення та зневоднення твердої фази з рідкої для очищення оборотної води при промиванні радіометричної руди збагачувальної фабрики. Розділення на грохоті здійснювалося за крупністю частинок від 20 мкм. Залишкова волога в надрешітному продукті становила трохи більше 17 %.

У публікаціях [12, 13] авторами запропоновано метод комплексного зневоднення вологої мінеральної сировини, який поєднує три механізми зневоднення (вібраційний, електрокінетичний та вакуумний), зосереджених в одному пристрої.

Загальний вигляд вібраційного пристрою для комплексного зневоднення вологої маси показаний на рис. 2 [12, 13].

Пристрій являє собою робочий вібраційний орган, встановлений на рамі 1 за допомогою гумових амортизаторів 2. При цьому корпус робочого органу 3 ізольований гумовими амортизаторами 4 від завантажувального бункера 5, який підключений до позитивного полюса 6 регульованого джерела постійного струму.

У верхній частині робочого органу встановлена ізоляційна прокладка 7, а в нижній частині (днище) встановлена дрібна сітка 8 для вільного проходження рідини при зневодненні сировини. До сітки підключений негативний полюс джерела 9 постійного струму. Під сіткою знаходиться камера збору 10 дрібного відсіву мінеральної сировини і дренажної вологи, які видаляються через затвор 11. У камері збору 10 через канал 12 здійснюється вакуумування вакуумним насосом 13. Безперервність руху матеріалу по робочому органу забезпечується вібробудником 14 з регульованою частотою та збудруючим зусиллям [12, 13].

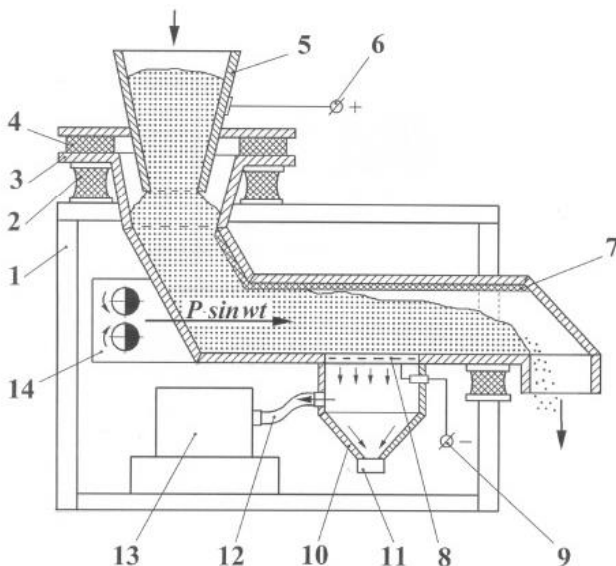


Рисунок 2 – Загальний вигляд вібраційного пристрою для комплексного зневоднення мінеральної сировини [12, 13]: 1 – рама; 2 – амортизатори; 3 – корпус робочого органу; 4 – амортизатори; 5 – завантажувальний бункер; 6 – позитивний полюс; 7 – ізоляційна прокладка; 8 – дрібна сітка; 9 – негативний полюс; 10 – камера збору; 11 – затвор; 12 – канал; 13 – вакуумний насос.

Застосування електрокінетичного методу на основі електроосмосу показало позитивні результати при зневодненні вугільних флотоконцентратів. На думку авторів у процесі використання можлива інтенсифікація більш глибокого зневоднення концентратів, що легко фільтруються і важко фільтруються, за рахунок вилучення вологи з пор і капілярів твердого залишку. Це пов'язано зі зміною сил поверхневого натягу рідини або розкладання молекул рідини під дією електричного струму, коли частини молекул води, що розкладаються в цьому полі, переносяться від одного полюса до іншого через шар пористої сировини, що зневоднюється (цей відомий у фізиці процес називається електроосмос). За рахунок використання цього методу при різній початковій вологості сировини вологість знижена з 30 до 16%, з 20 до 14% та з 10 до 6%. Ці результати отримані для вузьких класів крупності 0,25-0,63 мм [12, 13].

Метод комплексного зневоднення вологої мінеральної сировини дозволяє в декілька прийомів знизити вологість до 6%. Для цього необхідно попередньо відокремити тонкі класи (частки менше 0,25 мм), що саме по собі є складним завданням, тобто за наявності пилу та глини метод не

використовується. Крім того, переробка різної сировини в більшості випадків вимагає поділ за крупністю та зневоднення продуктів широкого спектру крупності.

Вміст вологи в багатьох продуктах обмежений ГОСТом або тимчасовими нормами. Вода є баластом під час їх перевезень. Надмірна кількість води сприяє замерзанню сировини в зимових умовах та викликає великі труднощі при вивантаженні їх із вагонів. Вугільні продукти (концентрат, промпродукт) при перевезенні залізничним транспортом повинні містити вологи не більше 5 % у зимовий час та 8-10 % у літній час. Концентрати руд, що відправляються залізничним транспортом у зимовий час, повинні містити вологи не більше: для магнетитових руд 2-4%, для гематитових та мартизових руд 3-5 %, для бурих залізняків 4-6 %, для флюатійних концентратів руд кольорових металів 5- 12 % [1-3].

Таким чином, необхідно зниження вологи до 8-10% і менше.

Останнім часом у інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України розроблено нові способи поділу за крупністю й зневоднення мінеральної сировини, що важко класифікується, та пристрій для їх реалізації (новий віброударний грохот) [14-20]. Ідея розробки полягає у використанні багаторазового за період вібробудження імпульсного впливу на поверхню, що просіває, і матеріал, що переробляється.

Для цього запропоновано поверхню збуджувати «подвійними ударами». Спочатку наноситься перший удар, що сприяє відриву сировини від поверхні, що просівається, і її розпушенню, потім на етапі її польоту наноситься другий удар, який повідомляє додаткове прискорення поверхні, що забезпечує її очищення від застряглих в отворах частинок і розрив менісків рідини. Важливо, що при нанесенні другого удару сировина, що переробляється, не перешкоджає видаленню частинок і рідини. Додатково для інтенсифікації поділу за крупністю та зневоднення застосовувалися дезінтегруючі елементи (ДЕ), гратчасті активатор та дезінтегратор [15-20].

На рис. 3 представлена модель грохоту з ударниками та активатором, яка складається з короба 1, під яким встановлена балка 2 з пружними елементами 3 та ударниками 4 (основний) та 5 (додатковий).

На пружних прокладках 6 змонтовані сталеві стрижні 7, на яких розташовувалася сітка 8. При гармонійному збудженні основи 9 на ударник діє змінна сила інерції, яка призводить до періодичних розривів контакту ударника 4 зі стрижнями 7. В результаті цього генеруються ударні імпульси, які передаються через стрижні 7 сітці 8 і сировині 10, що переробляється. Режим з «подвійними ударами» здійснювався за допомогою додаткового ударника 5 з жорсткістю пружного елемента, відмінною від жорсткості пружного елемента ударника 4. Над сіткою 8 на відстані  $l$  монтувався гратчастий активатор 11. Дезінтегруючі елементи 12 розташовувалися на активаторі 11. При використанні дезінтегратора його розташовували над активатором. На ньому також розташовувалися ДЕ.



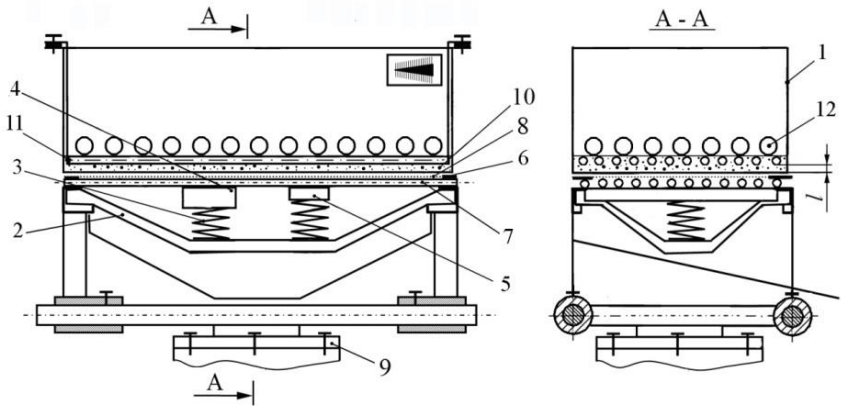


Рисунок 3 – Модель грохота з ударниками і активатором [15-20]: 1 – короб; 2 – балка; 3 – пружний елемент; 4 – основний ударник; 5 – додатковий ударник; 6 – пружна прокладка; 7 – стрижні; 8 – сітка; 9 – основа; 10 – шар сировини; 11 – активатор; 12 – дезінтегруючі елементи.

Розроблено математичну модель, яка описує рух поверхні, що просіває, грохоту при збудженні її двома ударниками. На підставі розрахунку визначають маси короба грохоту, поверхні, що просіває, і ударників, вертикального переміщення, жорсткості, амплітуди сили, частоти, часу, швидкості після і до удару, кількості ударів. Це дозволяє встановити режими, при яких здійснюються «подвійні удари», створити модель грохоту з ударним збудженням поверхні, що просіває, і розрахувати його конструктивні та динамічні параметри [19, 20].

Експериментальні дослідження показали, що реалізація режиму коливаних поверхні, що просіває, з додатковими ударами, в порівнянні з «одиначними ударами», підвищує ефективність грохочення сировини в залежності від її фізико-механічних властивостей від 5 до 15 % [19, 20].

У лабораторних умовах на моделі віброударного грохоту досліджено режими, при яких здійснюються «подвійні удари» і за рахунок цього реалізується розділення й зневоднення мінерального сировини широкого інтервалу крупності. При експериментах використовувалася поверхня, що просіває, у вигляді металевої сітки з отворами 0,1 мм.

Були виконані дослідження щодо визначення ефективності поділу та зневоднення вугільних шлаків розміром  $+0-5,0$  мм. Вологість вихідного продукту становила  $25\div 30$  %. Експерименти проводилися при амплітуді збурень 2 мм та частоті 35 Гц.

Встановлено, що застосування «подвійних ударів» і дезінтегруючих елементів дозволило розділяти й зневоднювати матеріал, що містить дрібні класи крупності, який при вологості 18-20 % при традиційних методах не

класифікується. Використання зазначених умов дозволило знизити вологість такого матеріалу з 30 до 8-10 %. Ефективність відокремлення класу +0-0,1 мм становила до 65-70 %.

За рахунок застосування активатора вологість матеріалу зменшена з 30 до 7-9 %, ефективність відділення класу +0-0,1 мм збільшилася до 70-75 %.

При використанні над активатором дезінтегратора, власна частота коливань якого перебувала в межах 20-35 Гц, було досягнуто зниження вологості надрешітного продукту до 6-8 %, при цьому ефективність відокремлення класу +0-0,1 мм підвищилася до 75-80 %.

Отримані результати з вологості можна порівняти з показниками, які отримують при зневодненні матеріалів на центрифугах та відповідають вищеописаним вимогам ГОСТ (тимчасовим нормам).

### **Висновки**

Таким чином, згідно з поставленою метою роботи виконано аналіз технічних рішень для зневоднення та класифікації за крупністю при тонкому та надтонкому вібраційному грохоченні.

Використання полічастотних та імпульсних динамічних («одиначні удари») впливів на вібраційному полічастотному грохоті МВГ2.0 дозволяє ефективно виділяти тверду фазу з рідкої при очищенні зворотної води від частинок крупністю від 20 мкм. При цьому залишкова волога в надрешітному продукті становить не більше 17 %.

Метод комплексного зневоднення вологої мінеральної сировини, що поєднує три механізми зневоднення (вібраційний, електрокінетичний і вакуумний), зосереджених в одному пристрої дозволяє при різній початковій вологості сировини зменшувати вологість з 30 до 16 %, з 20 до 14 % і з 10 до 6 %, тобто у кілька прийомів знизити вологість із 30 до 6 %. Ці результати отримані для вузьких класів крупності 0,25-0,63 мм. І тому необхідно попередньо відокремити тонкі класи (частки менше 0,25 мм), що саме собою є складним завданням, тобто. за наявності пилу та глини метод не використовується. Крім того, цей метод використовується лише для зневоднення без можливості відокремлювати тонкі продукти.

Використання режимів з «подвійними ударами» та дезінтегруючих елементів у новому віброударному грохоті дозволяє зневоднювати матеріал, що містить дрібні класи крупності, і який при вологості 18-20 % традиційними методами не класифікується і не зневоднюється, дозволили знизити вологість з 30 % до 8. Ефективність відокремлення класу +0-0,1 мм становила до 65-70 %. При використанні активатора вологість матеріалу зменшена з 30 до 7-9%, а ефективність відділення класу +0-0,1 мм збільшена до 70-75 %. За рахунок застосування над активатором дезінтегратора досягнуто зниження вологості надрешітного продукту до 6-8 %, при цьому ефективність відокремлення класу +0-0,1 мм підвищилася до 75-80 %. Експериментальним методом на моделі

віброударного грохоту для різних класів крупності визначено умови, за яких забезпечується максимальне вилучення класу +0–0,1 мм та зниження вологості.

В даний час в ІГТМ НАН України ведуться роботи спрямовані на створення віброударного грохоту, в якому буде реалізовано розширення спектра впливу на матеріал, що переробляється, збільшення ресурсу роботи грохоту, можливості оперативного автоматичного управління, підвищення стабільності роботи і при цьому простота конструкції.

#### Перелік посилань

1. Бейлин М. И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей. Москва : Недра, 1969. 240 с.
2. Meinel A. Zu den Grundlagen der Klassierung sieschwieriger Materialien. *Aufbereitungs-Technik*. 1999. № 7. P. 313–327.
3. Лапшин Е. С., Шевченко А. И. Пути совершенствования вибрационного разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2013. Вип. 3(135). С. 45–51.
4. Обезвоживание на многочастотных вибрационных машинах. URL: [http://www.vtcenter.ru/articles/coal\\_atic.htm](http://www.vtcenter.ru/articles/coal_atic.htm)
5. Вопросы и ответы. URL: [http://www.kroosh.ru/%20?Voprosy\\_i\\_otvety%26nbsp](http://www.kroosh.ru/%20?Voprosy_i_otvety%26nbsp)
6. Лапшин Е. С., Шевченко А. И. Анализ состояния развития вибрационного грохочения при обезвоживании минерального сырья. *Геотехническая механика*. 2012. № 101. С. 84–104.
7. Привод поличастотного грохота: пат. 45544 Україна. № u200906845; заявл. 30.06.09; опубл. 10.11.09, Бюл. № 21. 2 с.
8. Булат А. Ф., Шевченко Г. А., Шевченко В. Г., Шляхова М. А. Вибрационные поличастотные грохоты в технологиях переработки тонких фракций минерального сырья. *Научно-техническое обеспечение горного производства*. 2014. № 86. С. 112–118.
9. Булат А. Ф., Шевченко Г. А. Влияние поличастотных колебаний просеивающих поверхностей вибрационных грохотов на разделение сыпучих материалов. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2010. Вип. 4. С. 92 – 97.
10. Шевченко Г. А., Шевченко В. Г. Бобылев А. А. Вибрационные грохоты с поличастотными колебаниями просеивающих поверхностей для тонкого разделения. *Уголь Украины*. 2013. Вип. 2(674), С. 23–27.
11. Шевченко Г. А., Шевченко В. Г. О целесообразности использования вибрационного поличастотного грохота для очистки оборотной воды при промывке руды роф. *Геотехническая механика*. 2012. Вип. 104. С. 120–125.
12. Пристрій для зневоднення сипких матеріалів: пат. 89501 Україна. № u 201312652; заявл. 25.10.2013; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8. 4 с.
13. Надутый В. П., Сухарев В. В., Костыря С. В. Результаты комплексного обезвоживания горной массы на вибрационном устройстве. *Вібрації в техніці та технологіях*: всеукраїнський науково-техн. журнал. Вінниця, № 1(73) 2014. С. 88–93.
14. Спосіб грохочення та зневоднювання мінеральної сировини, що важко класифікується: пат. 65469 Україна. № u 201105325; заявл. 26.04.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. №23. 4 с.

15. Спосіб грохочення та зневоднювання матеріалів, що важко класифікуються: пат. 67194 Україна. № у 201107943; заявл. 23.06.2011; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3. 4 с.
16. Спосіб розділення за крупністю та зневоднювання сипучого матеріалу, який важко класифікується: пат. 77362 Україна. № у 201209458; заявл. 02.08.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3. 4 с.
17. Лапшин Е. С., Шевченко А. И. Пути интенсификации обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах. *Збагачення корисних копалин*. 2011. Вип. 47(88). С. 144–151.
18. Шевченко А. И. Интенсификация разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья при новом способе виброударного грохочения. *Збагачення корисних копалин*. 2013. Вип. 54(95). С. 157–166.
19. Надутый В. П., Лапшин Е. С., Шевченко А. И. Математическое моделирование грохота с ударным возбуждением просеивающей поверхности. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Львівська політехніка*. 2011. Вип. 45. С. 320–324.
20. Шевченко О. І. Розвиток наукових основ процесу віброударного зневоднення техногенної сировини гранулометричного складу, який змінюється : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.15.09. Дніпро, 2021. 45 с.

### References

1. Beilin M. I. Theoretical foundations of coal dehydration processes. [Teoreticheskiye osnovy protsessov obezvozhivaniya ugley]. Moscow : Nedra, 1969. 240 p.
2. Meinel A. Zu den Grundlagen der Klassierung sieschwieriger Materialien. *Aufbereitungs-Technik*. 1999. No. 7. P. 313–3271.
3. Lapshin E. S., Shevchenko A. I. Ways to improve vibratory separation by size and dehydration of mineral raw materials. [Puti sovershenstvovaniya vibratsionnogo razdeleniya po krupnosti i obezvozhivaniya mineral'nogo syr'ya]. *Naukovyy visnyk Natsional'noho hirnychoho universytetu*, 2013. No. 3(135). P. 45–51.
4. Dehydration on multifrequency vibration machines. Available at: [http://www.vtcenter.ru/articles/coal\\_atic.htm](http://www.vtcenter.ru/articles/coal_atic.htm)
5. Questions and answers. Available at: [http://www.kroosh.ru/%20?Voprosy\\_i\\_otvety%26nbsp](http://www.kroosh.ru/%20?Voprosy_i_otvety%26nbsp)
6. Lapshin E. S., Shevchenko A. I. Analysis of the state of development of vibratory screening during dehydration of mineral raw materials. [Analiz sostoyaniya razvitiya vibratsionnogo grokhocheniya pri obezvozhivani mineral'nogo syr'ya]. *Geo-Technical Mechanics*. 2012. No. 101. P. 84–104.
7. Drive polyfrequency screen [Privod polichastotnogo grokhota]: pat. 45544 Ukraine. №u200906845; dec. 06/30/09; publ. 10.11.09, Bull. No. 21. 2 p.
8. Bulat A. F., Shevchenko G. A., Shevchenko V. G., Shlyakhova M. A. Vibrating polyfrequency screens in technologies for processing fine fractions of mineral raw materials. [Vibratsionnyye polichastotnyye grokhoty v tekhnologiyakh pererabotki tonkikh fraktsiy mineral'nogo syr'ya]. *Nauchno-tehnicheskoye obespecheniye gornogo proizvodstva*. 2014. No. 86. P. 112–118.
9. Bulat A. F., Shevchenko G. A. Influence of polyfrequency vibrations of screening surfaces of vibrating screens on the separation of bulk materials. [Vliyaniye polichastotnykh kolebaniy proseivayushchikh poverkhnostey vibratsionnykh grokhotov na razdeleniye sypuchikh materialov]. *Naukovyy visnyk Natsional'noho*

- hirnychoho universytetu*. 2010. No. 4. P. 92 - 97.
10. Shevchenko G., Shevchenko V., Bobylev A. Vibrating screens with polyfrequency vibrations of screening surfaces for fine separation. [Vibratsionnyye grokhoty s polichastotnymi kolebaniyami proseivayushchikh poverkhnostey dlya tonkogo rozdeleniya]. *Coal of Ukraine*. 2013. No. 2(674), P. 23-27.
  11. Shevchenko G. A., Shevchenko V. G. (2012). On the feasibility of using a vibrating multi-frequency screen for cleaning circulating water when washing ore ref. [O tselesoobraznosti ispol'zovaniya vibratsionnogo polichastotnogo grokhota dlya ochistki oborotnoy vody pri promyvke rudy rof]. *Geo-Technical Mechanics*. 2012. No. 104. P. 120-125.
  12. Device for dewatering loose materials [Prystriy dlya znevodnennya sypkyykh materialiv]; pat. 89501 Ukraine. № u 201312652; statement 25.10.2013; published 04.25.2014, Bul. No. 8. 4 p.
  13. Naduty V. P., Sukharev V. V., Kostyria S. V. The results of complex dehydration of the rock mass on a vibration device. [Rezultaty kompleksnogo obezvozhivaniya gornoy massy na vibratsionnom ustroystve]. *Vibratsiyy v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*. 2014. No. 1(73). P. 88-93.
  14. The method of screening and dehydration of mineral raw materials, which is difficult to classify [Sposib hrokhochennya ta znevodnyuvannya mineral'noyi syrovyny, shcho vazhko klasyfikuyet'sya]; pat. 65469 Ukraine. № u201105325; statement 26.04.2011; published 12.12.2011, Bull. No 23. 4 p.
  15. The method of screening and dehydration of materials that are difficult to classify [Sposib hrokhochennya ta znevodnyuvannya materialiv, shcho vazhko klasyfikuyut'sya]; pat. 67194 Ukraine. No. u 201107943; statement 06/23/2011; published 10.02.2012, Bull. No. 3. 4 p.
  16. A method of size separation and dewatering of bulk material that is difficult to classify [Sposib rozdilennya za krupnistyu ta znevodnyuvannya sypuchoho materialu, yakyy vazhko klasyfikuyet'sya]; pat. 77362 Ukraine. No. u 201209458; statement 02.08.2012; published 11.02.2013, Bull. No. 3. 4 p.
  17. Lapshin E. S., Shevchenko A. I. Ways of intensification of dehydration of mineral raw materials on vibrating screens. [Puti intensifikatsii obezvozhivaniya mineral'nogo syr'ya na vibratsionnykh grokhotakh]. *Zbahachennya korysnykh kopalyn*. 2011. No. 47(88). P. 144-151.
  18. Shevchenko A. I. Intensification of separation by size and dehydration of mineral raw materials with a new method of vibro-impact screening. [Intensifikatsiya rozdeleniya po krupnosti i obezvozhivaniya mineral'nogo syr'ya pri novom sposobe vibroudarnogo grokhocheniya]. *Zbahachennya korysnykh kopalyn*. 2013. No. 54(95). P. 157-166.
  19. Naduty V. P., Lapshin E. S., Shevchenko A. I. Mathematical modeling of a screen with shock excitation of the screening surface. [Matematicheskoye modelirovaniye grokhota s udarnym vozbuzhdeniyem proseivayushchey poverkhnosti]: *Automation of manufacturing processes in machine-building and accessories*. Lviv Polytechnic. 2011. No. 45. P. 320-324.
  20. Shevchenko O.I. Development of the scientific foundations of the process of vibro-impact dehydration of man-made raw materials of varying granulometric composition [Rozvytok naukovykh osnov protsesu vibroudarnoho znevodnennya tekhnohennoyi syrovyny hranulometrychnoho skladu, yakyy zminuyet'sya]: autoref. thesis ... Dr. technical Sciences: 05.15.09. Dnipro. 2021. 45 p.

**E. S. Lapshin**, D. Sc. (Tech.), Leading Researcher, ORCID 0000-0002-5443-5566  
**O. I. Shevchenko**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0002-3759-7889

*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov  
of National Academy of Sciences of Ukraine*

## **ANALYSIS OF TECHNICAL SOLUTIONS FOR DEHYDRATION AND CLASSIFICATION BY SIZE OF MINERAL RAW AT THIN AND ULTRAFINE VIBRATION SCREENING**

**Summary.** The article is aimed at studying new technical solutions for dehydration and size classification in the case of fine and ultrafine vibratory screening of mineral raw materials. It is shown that the moisture content in many products is limited by GOST or temporary regulations. Water is the ballast in their transportation. An excessive amount of water contributes to the freezing of raw materials in winter conditions and causes great difficulties in unloading them from wagons. Traditional methods make it possible to effectively separate only materials with a particle size of more than 1 mm, and reduce the moisture content of the finished product to 18-22%, depending on the size, which does not meet the required standards. It is necessary to reduce moisture to 8-10% or less. In addition, the processing of various raw materials in most cases requires, simultaneously with dehydration, the separation of products of a wide range of sizes. To overcome the adhesion forces between wet particles, different excitations are used, one of which is a combined excitation that provides intensive movement of the liquid and particles relative to each other. Combined means excitation with various combinations of polyfrequency, impulse dynamic effects, and additional effects of various physical fields are also possible. The use of polyfrequency and impulse dynamic ("single impacts") impacts on the MVG2.0 vibrating polyfrequency screen makes it possible to effectively separate the solid phase from the liquid when treating recycled water with a particle size of 20 microns. At the same time, the residual moisture in the oversize product is no more than 17%. The method of complex dehydration of wet mineral raw materials, combining three dehydration mechanisms (vibration, electrokinetic and vacuum), concentrated in one device, allows, at different initial moisture content of the raw material, to reduce the moisture content from 30 to 16%, from 20 to 14% and from 10 to 6%, t. e. reduce the humidity from 30 to 6% in several stages. These results were obtained for narrow size classes of  $0.25 \div 0.63$  mm. The use of modes with "double impacts" and disintegrating elements in the new vibro-impact screen made it possible to reduce the humidity from 30% to 8-10%. The separation efficiency of the  $+0-0.1$  mm class was up to 65-70%. When using an activator, the moisture content of the material is reduced from 30% to 7-9%, and the separation efficiency of the  $+0-0.1$  mm class is increased to 70-75%. Due to the use of a disintegrator over the activator, the moisture content of the oversize product was reduced to 6-8%, while the separation efficiency of the  $+0-0.1$  mm class increased to 75-80%. Experimental method on the model of a vibro-impact screen for different fineness classes determined the conditions under which the maximum extraction of the class  $+0-0.1$  mm and the decrease in humidity are determined. Currently, work is underway aimed at creating a vibro-impact screen, which will implement: expanding the range of impact on the processed material, increasing the life of the screen, the possibility of operational automatic control, increasing the stability of work and, at the same time, simplicity of design.

**Key words:** polyfrequency and impulse dynamic impact, complex dehydration,

vibro-impact mode with "double impacts", size separation, dehydration.

**For citation:** Lapshin E.S., Shevchenko O.I. Analiz tekhnichnykh rishen' dlya znevodnennya ta klasyfikatsiyi za krupnistyu mineral'noyi syrovyny pry tonkomu i nadtonkomu vibratsiyomu hrokhochenni [Analysis of technical solutions for dehydration and classification by size of mineral raw at thin and ultrafine vibration screening]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 507-521. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-507-521.

*Стаття надійшла до редакції збірника 04.11.2022 р.  
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)*