

УДК 622.349.5.002.68:622.8

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Шевченко Г.О., д-р техн. наук, ст. наук. співр.,
Лебедь Г.Б., магістр,
Сущенко О.І., магістр
(ІГТМ НАН України)

**ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ЖИВИЛЬНИКІВ З ВІБРОУДАРНИМ
ПРИВОДОМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ
ВИПУСКУ УРАНОВИХ РУД**

Шевченко В.Г., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Шевченко Г.А., д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,
Лебедь Г.Б., магістр,
Сущенко А.И., магістр
(ИГТМ НАН Украины)

**К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПИТАТЕЛЕЙ С ВИБРОУДАРНЫМ ПРИВОДОМ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ
ВЫПУСКА УРАНОВЫХ РУД**

Shevchenko V.G., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Shevchenko G.O., D. Sc. (Tech.), Senior Researcher,
Lebed G.B., M.S (Tech),
Sushchenko O.I., M.S (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

**TO THE USE OF FEEDERS WITH VIBRO-IMPACT DRIVE
FOR INCREASING PRODUCTIVITY AND SAFETY OF THE URANIUM
ORE DRAWING**

Аннотация. Здійснено аналіз факторів, що впливають на продуктивність та безпеку випуску з дучок уранових руд вібраційними живильниками. Розроблено пропозиції щодо вдосконалення методів і засобів випуску з дучок уранових руд вібраційними живильниками. Для подолання недоліків вібраційного випуску уранових руд з очисних блоків запропоновано використовувати живильники з адаптивним віброприводом, коливання яких би збільшувались при зростанні реакції від стовпа відбитої гірничої маси та поширювались на більшу її глибину. Створення вібраційних живильників з адаптивним віброприводом можливе при віброударному збудженні лотка віброживильника та відбитої уранової руди на ньому. Адаптивність віброприводу відбувається за рахунок зростання динамічного зазору у віброударній системі при зменшенні амплітуд коливань лотка живильника при зростанні реакції стовпа відбитої гірничої маси. При віброударному збудженні відбувається резонансне підсилення коливання лотка та здійснюються його полічастотні коливання і, відповідно, сипкого середовища на ньому. Використання живильників з віброударним приводом знизить собівартість, підвищить продуктивність та безпеку випуску уранових руд з дучок.

Ключевые слова: выпуск урановых руд з дучок, живильники, віброударний привод, резонансні коливання, продуктивність та безпека.

Одними із основних процесів підземного видобутку уранових руд є випуск відбитої гірничої маси з очисного простору. Процес випуску і навантаження руди займає в середньому 25-30 % всіх трудових витрат у технології видобутку, притому, травматизм гірників у цьому процесі становить 25–40 % від загального на підземних гірничих роботах [Потураєв В.М., 1981, 1989].

Встановлення закономірностей, вдосконалення методів і засобів випуску з дучок уранових руд вібраційними живильниками є актуальною науково-прикладною проблемою, що має суттєве значення для уранодобувної галузі. Вирішення цієї проблеми принесе значний економічний ефект, оскільки підвищує продуктивність та безпеку ведення робіт при видобутку уранових руд, що має також суттєве соціальне значення.

Вирішення існуючих проблем вібровипуску відбитої уранової руди з блоків при підземній розробці, можливо за рахунок інтенсифікації вібровипуску, створення живильників з адаптивним віброприводом, який би забезпечував підвищення віброзбудження при збільшенні навантажень гірничої маси на лоток живильника. Інтенсифікація та адаптація вібровпливу до збільшення навантаження на робочий орган вібромеханізму, його полічастотне збудження, можливе при віброударному збудженні робочих органів [1-7].

Метою роботи є вдосконалення методів і засобів випуску з дучок уранових руд вібраційними живильниками при віброударному полічастотному збудженні робочих органів для підвищення продуктивності та безпеки ведення гірничих робіт при видобутку уранових руд.

З іноземних фахівців у створенні вібраційних засобів транспортування та подачі сипких середовищ, у тому числі тонкодисперсних матеріалів, працюють спеціалісти таких фірм, як “DERRICK Corporation” (США), “KROOSH Technologies” (Ізраїль), “Ревум”, “Уде”, ВМФ, АЕФ (Німеччина), Механобр, ІОТТ (Росія) та інші. Відмінною особливістю таких вібраційних механізмів є підвищений рівень прискорень і збудження нелінійних коливань їх робочих органів. Крім цього є й інші суттєві чинники, які впливають на ефективність технологічних операцій, що здійснюють ці вібраційні машини.

Вібраційні живильники з електромагнітним приводом, які виробляються в країнах ближнього зарубіжжя (НВК «Механобр-Техніка», ТОВ «Вібромеханіка», РФ), для дозованої подачі різних кускових і сипучих матеріалів забезпечують низьке енергоспоживання; можливість точного регулювання подачі матеріалу з бункера; великий вибір блоків і шаф керування (порціонне і безперервне дозування ваги, установка датчика коливання лотка); можливість футеровки лотків важких живильників. Термін служби таких живильників становить не менш 10 років. У порівнянні з відомими не вібраційними типами живильників (пластинчастими, тарілчастими, коливальними, стрічковими) вібраційні живильники, у силу своєї специфіки взаємодії з оброблюваним середовищем, забезпечують більше стійке витікання матеріалу з бункерів, перешкоджають зависанню і склепоутворенню, відрізняються по показниках енергоспоживання, надійності, абразивного зношування та металоємності.

У деяких випадках вібраційні живильники дозволяють сполучати транспортування матеріалу по лотку з його просіванням і зневоднюванням. Вібраційні живильники можуть бути виконані з різною продуктивністю, з різним типом привода, різними габаритами, з відкритим або закритим виконанням лотка, із внутрішньої футеровкою (для абразивних матеріалів) лотка, опорного або підвісного виконання. Так, живильники-грохоти ПГВ (виробництва Консит-А, РФ) призначені для вивантаження з бункерів та інших акумулюючих ємностей і попереднього просівання здрібненої руди не схильної до налипання крупністю до 800 мм. Переваги цих живильників наступні: збільшення продуктивності розвантажувального пристрою; виключення зависання матеріалу і склепоутворення в бункерах; сполучення операцій розвантаження і просівання; зниження капітальних і експлуатаційних витрат; надійність роботи; простота і зручність обслуговування.

До переваг живильників, вироблених у КНР (Шанхайська гірничо-машинобудівна компанія, ТОВ «Хенаньська гірничо-машинобудівна компанія» та ін.), можливо віднести стабільну вібрацію за рахунок прямолінійної траєкторії руху, виключення блокування матеріалу, що забезпечується регульованим простором між ґратчастими пластинами, надійну роботу, тривалий термін служби, регульовану силу збудження, низьке енергоспоживання та шум.

Виробляються надпотужні електромагнітні живильники (Eriez Magnetics Europe Ltd, Великобританія) для обробки вугілля, руди, шлаків, для великих обсягів контрольованої подачі та з продуктивністю до 850 тонн у годину, з верхніми приводами, декількома механізмами привода, які вимагають мінімального обслуговування. Конструкція живильника не має частин, що рухаються, таких як вали, кулачки, підшипники, забезпечуючи у такий спосіб відсутність їх змащення.

Особливості й переваги вібраційних живильників (Carrier Vibrating Equipment, Inc., США): переміщення зі швидкістю до 60 футів у хвилину, обробка матеріалів температурою до 2000 град. F; забезпечення надійної роботи в самих складних умовах; низька споживана потужність; продуктивність до 3000 тонн у годину; гумова ізоляція пружин зменшує динамічні навантаження; простота установки, низькі експлуатаційні витрати, мінімальний час простою. Варіанти виконання включають деки, що просівають, знімні пилонепроникні кришки, вибухозахищені конструкції та ін.

Із вітчизняних наукових організацій значний внесок у теорію та практику вібраційних процесів транспортування, навантаження сипких середовищ, випуску відбитих руд, мають фахівці ЗАТ «Луганський машинобудівний завод», ДП «СхідГЗК», УкрНДІпромтехнології, ІГТМ НАН України та інші.

Незважаючи на значну кількість досліджень у напрямку створення теоретичних основ та вібраційних машин для вищезазваних процесів, до цього часу не повною мірою вивчені закономірності випуску уранових руд з дучок вібраційними живильниками уранових руд. Не розроблено на їх базі методів розрахунку параметрів вібровипуску уранових руд, що дозволило б розробити

рекомендації щодо підвищення продуктивності та безпеки ведення гірничих робіт при видобутку уранових руд.

В Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України накопичений вагомий науковий та практичний досвід по створенню вібраційних живильників для випуску відбитих уранових руд з очисного простору та полічастотних грохотів для класифікації за крупністю та зневоднення тонкодисперсних сипких середовищ [Потураєв В.М., 1981, 1989], [1-7].

Проведено аналіз факторів, що впливають на продуктивність випуску з дучок уранових руд вібраційними живильниками.

Гравітаційний виток руди має такі недоліки, як низька продуктивність, наявність значної кількості зависань та високий рівень травматизму робочих, що заняті на випуску і доставці руди [Феокистов А.Т., 1965]. Для подолання цих недоліків рядом науково-дослідних інститутів і підприємств були початі дослідження по впровадженню більш прогресивного вібровипуску гірничої маси [Потураєв В.М., 1981, 1989]. Комплексні дослідження вібровипуску дозволили встановити наступне:

- вібровипуск забезпечує примусовий випуск і транспортування гірничої маси, при якому виток руди здійснюється по всьому перетину випускного отвору і, в результаті накладення вібрації, коефіцієнт проходження випускного отвору може бути знижений до 1,6;

- віброустановки відрізняються високою продуктивністю та великою вантажоприймальністю, при цьому найбільш ефективними є режими коливань робочого органу з амплітудою 2–4 мм та частотою 15–20 Гц;

- найбільш ефективно вібровипуск здійснюється при умові, що робочий орган вібромашини заглиблений на деяку глибину під стовп сипкого матеріалу. При цьому глибина заглиблення не повинна перевищувати 1–2 м;

- вібровипуск може ефективно поєднуватись як з локомотивною відкаткою при скреперній доставці руди в акумулюючі ємності, так і з самохідним доставочно-навантажувальним обладнанням;

- використання вібровипуску значно спрощує конструкцію та на 30–40 % знижує трудомісткість формування подошви блоку.

Зважаючи на вищенаведене, вібровипуск має значні переваги перед різними варіантами гравітаційного випуску, найбільш повно відповідає умовам безперебійного випуску гірничої маси і дозволяє значно інтенсифікувати процес очисної виїмки з використанням високопродуктивних і прогресивних систем розробки з масивним обваленням гірничої маси, а також забезпечити умови для повної механізації та автоматизації процесу виїмки.

Для реалізації та промислового використання вібровипуску руди були розроблені та впроваджені на гірничорудних підприємствах десятки типів вібраційних живильників, які відрізняються вантажопід'ємністю, розмірами вібрототка, потужністю віброприводу, функціональним використанням та ін. [Потураєв В.М., 1981, 1989]. Більшість машин мають незначні відмінності у кінематичній схемі, що полягають у кінематичних, конструктивних параметрах

і технічних характеристиках, аналіз яких дозволив підійти до вибору раціональних параметрів при проектуванні вібромашин для конкретних умов експлуатації.

Вібровивильники в основному використовуються для випуску і доставки руди з дучок очисних блоків, рудоспусків і інших акумулюючих ємностей при незначній протяжності транспортування. Знайшли використання також живильники-грохоти, які додатково класифікують гірничу масу, що в основному зводиться до відділення негабаритів. До вібровивильників пред'являються високі вимоги по міцності та надійності конструкції, так як вони працюють в умовах навалу, під великим статичним навантаженням руди, навантажень від дії вибухових робіт для руйнування і ліквідації зависань, а також значних ударних навантажень від кусків гірничої маси, що падають на лоток живильника.

Процес випуску гірничої маси з очисного простору супроводжується склепоутворенням кускового матеріалу, яке залежить, як від рухомості сипкого середовища, так і від розмірів отвору для випуску руди з блоку. На рухомість сипкого середовища впливають багато факторів, які характеризують його властивості: гранулометричний склад, коефіцієнт розпушення, кут природного ухилу, схильність до злежування, вологість та ін. Багатьма дослідженнями встановлено, що домінуючим фактором у склепоутворенні є розмір випускного отвору та розмір максимальних кусків відбитої гірничої маси [Потураєв В.М., 1981, 1989]. Розклинення та зависання практично виключається, якщо розмір випускного отвору – робоча висота перетину випускного отвору в 3,5–5 разів більше максимального куска сипкого середовища.

Всі схеми випуску побудовані на тому, що потік гірничої маси витікає через випускні отвори (випускні вікна, дучки) на приймальну вантажо-постачальну виробку (камеру грохочення, скреперний або конвеєрний штрек, навантажувальну камеру), що розміщується збоку відносно випускної виробки. У процесі випуску в основі приймальної виробки створюється рудний ухил сипкого середовища (рудна постіль) під кутом зсуву $55-75^{\circ}$, який дещо більше кута природного ухилу, рівного $43-55^{\circ}$.

Вібровипуск відрізняється від інших способів випуску тим, що вібромеханізми забезпечують не тільки переміщення гірничої маси, а і її вібробудження. Вібрація у сипкому середовищі через дисипацію енергії збудження розповсюджується у радіусі 2–3 м від джерела збудження. Вона активно впливає на параметри зони потоку за рахунок руйнування зв'язків статичної рівноваги та зміни сил щеплення сипкого середовища. Граничні кути ухилу самовитоку сипкого середовища під впливом вібрації різко зменшуються (до $32-36^{\circ}$). Вібрація дозволяє забезпечити примусовий випуск, коли величина умовного отвору для витоку буде менше критичного його значення, як при гравітаційному витоку, при цьому збільшується зона потоку гірничої маси.

Зона впливу параметрів випускного отвору при вібровипуску залежить від величини заглиблення лотка живильника під завал гірничої маси та його ширини. Збільшення ширини лотка рівнозначно збільшенню ширини

випускного отвору і призводить до значного підвищення продуктивності випуску. При збільшенні величини заглиблення лотка живильника під завал, завдяки розширенню ширини зони вібровпливу, можливе збільшення відстані між рядами випускних отворів та між отворами в ряду, що призводить до зменшення капітальних витрат на обладнання виробок. До такого ж результату призводить збільшення енергії вібровпливу на масив гірничої маси за рахунок збільшення сил вірозбудження. При цьому зростає швидкість витоку руди і параметри потоку при незмінних параметрах випускних виробок, що рівнозначно збільшенню пропускнуої здатності випускного отвору.

Використання вібраційних живильників і схем вібраційного випуску, доставки і навантаження руди в підземних умовах дозволило механізувати один з найбільш трудомістких та небезпечних процесів видобутку уранових руд і вирішити при цьому наступні задачі: збільшення продуктивності випуску і навантаження крупнокускової гірничої маси в 2,5–3 рази; зменшення трудомісткості та зниження собівартості процесу випуску і навантаження руди; підвищення рівномірності витоку гірничої маси з випускних отворів та зменшення у 3–5 разів зависання крупнокускового матеріалу; збільшення розмірів кондиційних кусків для випуску; суттєвого зменшення випадків травматизму в процесі випуску, навантаження і доставки, які склали до 30–60 % всіх випадків на підземних роботах; механізації процесу випуску та навантаження і, в перспективі, створення умов для здійснення безлюдних технологій видобутку; зниження втрат руди у підшвах блоків і обсягів проходки та підготовки виробок до виїмки руди.

У динамічному відношенні всі віброживильники, які використовуються для випуску уранових руд побудовані по одномасній коливальній схемі зарезонансного типу з віброзбудженням від інерційних збудників, та які характеризуються наступними технічними параметрами: амплітудою коливань робочого органу (лотка) живильника A , частотою коливань ω , жорсткістю пружної системи C , напрямом коливань до горизонту α і кутом нахилу робочого органу β .

Частота вимушених коливань живильника суттєво впливає на продуктивність та енергоємність процесу транспортування. Результати досліджень по виявленню діапазону оптимальних значень частот для умов підземного випуску руди [Потураєв В.М., 1989] показали, що максимальної продуктивності при мінімальних енергетичних затратах живильники досягають при частоті вимушених коливань робочого органу 15,5–17,5 Гц. При більших значеннях частоти технічна продуктивність живильника збільшується менш інтенсивно, при цьому значно збільшується потужність споживання і енергоємність випуску та навантаження. Так, при зміні частоти коливань від 16,1 до 20 Гц енергоємність зростає у 1,5–1,7 рази, в той час як продуктивність збільшується всього у 1,2–1,3 рази. Даний діапазон частот і був прийнятий як

найбільш раціональний для параметричного ряду віброживильників при підземній розробці уранових руд [Потураєв В.М., 1989]. Технічні характеристики таких живильників наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики віброживильників для випуску уранових руд в умовах підземного видобутку

| Показник | Тип живильника | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------|
| | ПВМ-1,0/1,5 | ПВМ-1,0/2,3 | ПВГ-1,0/2,2 | ПВГ-1,2/3,1 | ПВГ-1,4/4,0 | ПВГ-1,2/5,7 | ПВГ-1,3/7,0 | ПВС-1,4/7,0 | КВГ С-1 |
| Продуктивність, т/г | 150-250 | 250-350 | 400 | 900 | 900-1500 | 600 | 900-1500 | 600-1000 | 600 |
| Протяжність транспортування, м | 1,5 | 2,4 | 2,24 | 3,1 | 4,0 | 5,7 | 6,9 | 7,3 | 12,0 |
| Ширина лотка, мм | 1000 | 1000 | 1000 | 1200 | 1400 | 1200 | 1200 | 1400 | 1200 |
| Кут розміщення, град | 0-5 | 0-5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0/20-40 | 0/20-40 |
| Амплітуда, мм | 1,5-2,5 | 1,5-2,5 | 1,7-2,5 | 1,8-2,5 | 1,5-3,5 | 1,5-2,0 | 1,7-2,5 | 1,5-3,5 | 0,8-2,5 |
| Частота коливаль, Гц | 16,1 | 16,1 | 16,1 | 16,1 | 16,2 | 16,7 | 16,1 | 16,2 | 16,1 |
| Примусова сила, кН | 16-30 | 16-30 | 28-38 | 55-80 | 90-120 | 106-145 | 130-180 | 90-120 | 55-120 |
| Маса, кг | 320 | 425 | 1000 | 2120 | 3770 | 4960 | 7100 | 4750 | 9750 |
| Ресурс, тис.т | 35 | 35 | 100 | 150 | 150 | 120 | 150 | 300 | 100 |

В якості привода віброживильників параметричного ряду використовуються двовальні інерційні віброзбудники. Для збільшення вантажоприймальності та надійності пружної системи інколи на рамах віброживильників встановлюються пружні амортизатори стискання, що обмежують амплітуди коливаль робочого органу. Пружні буферні обмежувачі коливаль встановлюються по напрямку дії примусової сили коливаль із зазором δ по відношенню до робочого органу [Потураєв В.М., 1989]. Зазор вибирається за умови $A_1 < \delta < A_{1p}$, де A_1 та A_{1p} , відповідно, амплітуди коливаль робочого органу в режимі стаціонарних коливаль та в режимі резонансу при відсутності на ньому технологічного навантаження.

Використання буферних амортизаторів дозволяє підвищити жорсткість пружної опори у напрямку примусових коливаль. В результаті цього не тільки підвищується вантажоприймальність пружної опори, а і збільшується амплітуда коливаль робочого органу за рахунок деякого зміщення режиму коливаль живильника до області резонансу. При цьому дещо збільшується

продуктивність живильника та поліпшуються умови його переходу через резонанс. Це важливо тоді, коли потужність електродвигуна віброзбудника менше максимальної потужності його коливальної системи при переході через резонанс. У цьому випадку при запуску, система здійснює нестационарні коливання на частотах близьких до її першої резонансної частоти. Відтак відбувається зависання системи, і вона не зможе здійснити перехід через резонанс (так званий ефект Зомерфельда) [Кононенко В.О., 1964]. На відміну при запуску електродвигуна і ударній взаємодії робочого органу з буферними амортизаторами в систему додатково надходить енергія за рахунок пружної відновлювальної сили буферних амортизаторів. В результаті при переході системи через резонанс можлива компенсація дефіциту потужності двигуна і встановлення стаціонарних коливань. Це дозволяє зменшити потужність двигуна на вібраційному живильнику, що дає економію енергії споживання. В цілому, буферні амортизатори позитивно впливають на роботу вібраційних живильників. Їх використання дозволяє підвищити вантажоприйомну спроможність живильника і збільшити його продуктивність, знизити встановлену потужність електродвигуна, значно покращити умови і скоротити тривалість та енергоємність процесу переходу коливальної системи через резонанс.

Велике значення в собівартості видобуваної руди має облаштування підосви рудоспусків і фундаментів для закріплення вібраційних живильників. Оскільки віброживильники для випуску руди є одномасними динамічними системами, то до статичного навантаження від маси стовпа руди на лоток додається динамічне навантаження при коливаннях. Це вимагає закріплення віброживильника до підосви виробки під рудоспуском, а значить вирівнювання підосви, бетонування і обладнання фундаменту під живильник.

При транспортуванні по рудоспуску виникають зависання руди, що суттєво впливає на собівартість видобутку. Кількість зависань при випуску руди вібраційними живильниками в середньому складає 21,2–11,6 на 1000 тонн випущеної гірської маси (табл. 2) [Потураєв В.М., 1989].

Аналіз практичної діяльності підприємств показав, що в результаті зависань руди у випускних виробках продуктивність випуску знижується в 1,5–2 рази. Особливо великі витрати підприємств при виникненні зависань в капітальних рудоспусках.

Промислові дослідження, наприклад віброживильника ПВГ-1,3/7,0, показали, що у порівнянні з віброживильниками меншої потужності живильник підвищує ефективність і надійність процесу випуску і навантаження, розширює зону дії вібрації на руду, що випускається, та попереджує зависання крупнокускової гірничої маси, що знижує витрати вибухової речовини (ВР) на повторне подрібнення і підвищує безпеку праці гірничих працівників. Крім того, використання віброживильника ПВГ-1,3/7,0 дозволяє зменшити кількість пунктів навантаження, що знижує обсяги робіт по нарізці виробок і затрати на їх облаштування та монтаж. Збільшує обсяги випуску руди з одного пункту навантаження.

Таблиця 2 – Техніко-економічні показники випуску руди віброживильником ПВГ-1,3/7,0

| Найменування показника, од. вим. | Значення |
|--|-------------|
| Обсяги випуску за період досліджень, т | 21251 |
| Технічна продуктивність, т/годину | 680 |
| Максимально досягнута технічна продуктивність, т/годину | 795,1 |
| Експлуатаційна продуктивність, т/годину | 525 |
| Максимально досягнута експлуатаційна продуктивність, т/годину | 645 |
| Коефіцієнт внутрішнього використання віброживильника | 0,11 |
| Коефіцієнт готовності віброживильника | 0,959 |
| Число зависань на 1000 т руди | 11,6 |
| Напрацювання на відмову, т/відм. | 3541,8 |
| Середня тривалість відновлення роботи живильника, чол.-годин/відм. | 6,5 |
| Енергоємність, кВт годин/т | 0,03721 |
| Споживна потужність електродвигуна, кВт | 24,8 ± 0,57 |

Існуючі техніка і технології ліквідації зависань є найбільш консервативними елементами у ланцюзі процесів видобутку і транспортування руди. До цього часу в практиці видобутку найбільш поширеними є трудомісткі і малобезпечні способи ліквідації зависань ручним способом або за допомогою накладних зарядів ВР, які розміщуються за допомогою шестів. Для контролю за переміщенням руди по рудоспуску та ліквідації зависань вимушено проходяться додаткові виробки (контрольні виробки з ходками та вікнами для спостереження), буриться безліч глибоких свердловин, витрачаються додаткові об'єми ВР. Все це значно завищує затрати на випуск уранових руд.

Для забезпечення нормальної роботи випускних та перепускних виробок необхідна розробка як профілактичних, так і оперативних заходів. Перше з них включає в себе організаційно-технічні заходи спрямовані на вибір раціонального перетину виробки, кута її нахилу, виду кріплення рудоспуску, розширення ефективності впливу випускного пристрою на відбиту гірничу масу, пристосування (адаптивність) пристрою до збільшення навантаження на його робочий орган, підвищення надійності роботи випускного пристрою, організацію і контроль транспортування руди. Оперативні заходи повинні бути направлені на якомога швидшу ліквідацію причин зупинки роботи рудоспусків.

Аналіз світової практики ліквідації зависань показав, що на стадії промислового експерименту були досліджені фізичні, хімічні, механічні та інші способи. Але вони не знайшли широкого використання, що пов'язано з низькою ефективністю, громіздким обладнанням і значною собівартістю їх використання. Більш широке використання знайшли динаміко-реактивні снаряди, але і вони не знайшли широкого застосування.

Найбільш розповсюдженим до теперішнього часу залишається вибуховий спосіб ліквідації зависань з використанням накладних зарядів, які доставляються за допомогою шестів, що є небезпечною операцією. Тому,

зниження кількості зависань на одиницю маси випущеної руди є актуальною задачею.

Зважаючи на вищенаведене на продуктивність випуску уранових руд з очисних блоків через випускні отвори (дучки) і собівартість випуску впливають наступні фактори:

- фізико-механічні властивості, у тому числі, гранулометричний склад відбитої руди у блоці, особливо відносна кількість кусків максимальної крупності, що впливає на частоту зависань руди у блоці та склепоутворення;

- геометрія випускних виробок та отворів для випуску руди із блоку, що також впливає на частоту зависань руди у блоці та склепоутворення;

- наявність та тип механічного засобу для випуску і навантаження руди, що також впливає на частоту зависань руди у блоці та склепоутворення;

- при вібраційному випуску параметри коливань робочого органу вібраційного механізму (перш за все, амплітуда і частота коливань);

- глибина збудження відбитої гірської маси, що залежить від заглиблення робочого органу вібраційного живильника у завал відбитої руди під випускним отвором, фізико-механічних характеристик руди та параметрів коливань віброживильника;

- зменшення інтенсивності коливань вібраційного робочого органу при збільшенні його навантаження за рахунок зростання реакції від стовпа відбитої гірничої маси;

- необхідність облаштування фундаментів для закріплення віброживильника до підосви випускної камери, що пов'язано з одномасною динамічною схемою вібраційних живильників, які використовуються для випуску уранових руд і передачі, у цьому випадку, динамічного навантаження на підосву виробки.

Розроблено пропозиції щодо вдосконалення методів і засобів випуску з дучок уранових руд вібраційними живильниками.

Базуючись на результатах попередніх досліджень [1-7] для підвищення продуктивності та безпеки ведення гірничих робіт при видобутку уранових руд необхідно створити віброживильники з адаптивним віброприводом, при якому коливання лотка живильника не припиняється під завалом і разом з тим збільшується глибина збудження відбитої гірничої маси. Це буде сприяти зменшенню ймовірності зависання відбитої руди у камері та склепоутворення і не припиненню збудження відбитої гірської маси в будь-яких умовах навантаження лотка вібраційного живильника, що, в цілому, сприятиме підвищенню продуктивності та безпеки ведення гірничих робіт при видобутку уранових руд.

Створення вібраційних живильників з адаптивним віброприводом можливе при віброударному збудженні лотка віброживильника та відбитої уранової руди на ньому. При такому збудженні відбувається резонансне підсилення коливання лотка та здійснюються його полічастотні коливання і, відповідно, сипкого середовища на ньому. Підсилення коливань відбувається за рахунок виникнення резонансів у системі лоток-робочий орган (ударник) віброударного приводу. Резонансне збільшення енергій та полічастотні коливання лотка і

сипкого середовища сприяють розповсюдженню вібрацій у глиб масиву сипкого середовища, у тому числі, за рахунок збудження низькочастотних складових цих коливань з енергіями на рівні енергій примусових коливань віброприводу. Відомо, що дисипація енергій низькочастотних складових коливань у масиві сипкого середовища здійснюється повільніше, ніж високочастотних. Крім того, наявність зазору між ударником інерційного віброприводу і лотком живильника зумовлює віброударне збудження лотка при будь-якому його навантаженні. При збільшенні навантаження на лоток живильника за рахунок зменшення його коливань відбувається збільшення динамічного зазору, що призводить до підвищення енергії удару, а, відповідно, і енергії збудження відбитої гірської маси. При цьому, одна із задач досліджень полягає в такому виборі параметрів вібраційного живильника і його ударного віброприводу, які б не призвели до критичних навантажень елементів його конструкції і швидкому виходу їх з експлуатації. Відповідно, адаптивність віброприводу полягає у тому, що чим більше навантаження лотка живильника, тим більше віброударної енергії буде передаватися в гірський масив. Крім того, віброживильники з віброударним приводом є двомасними динамічними системами зі збудженням примусових коливань у зарезонансній області. Такі системи є урівноваженими та такими, що не вимагають закріплення рами живильника до підшви гірничої виробки при його установці, а також ведення бетонних робіт по вирівнюванню цієї підшви. Відсутність закріплення таких вібромашин до підшви виробок надає можливість оперативно переміщати віброживильники на горизонті випуску і доставки. Це, а також можливість збільшення відстані між рядами випускних отворів та отворами в ряду, суттєво зменшує капітальні витрати на установку вібраційних полічастотних живильників та улаштування дучок.

Висновки.

- вібровипуск має значні переваги перед різними варіантами гравітаційного випуску, найбільш повно відповідає умовам безперебійного випуску гірничої маси і дозволяє значно інтенсифікувати процес очисної виїмки з використанням високопродуктивних і прогресивних систем розробки, з масивним обрушенням гірничої маси, а також забезпечити умови для повної механізації і автоматизації процесу виїмки;

- на продуктивність випуску уранових руд з очисних блоків через випускні отвори (дучки) і собівартість випуску впливають частота зависань руди у блоці та склепоутворення, що залежать від гранулометричного складу і глибини збудження відбитої гірничої маси при вібраційному випуску. Збільшення навантаження типових вібраційних живильників за рахунок зростання реакції від стовпа відбитої гірничої маси призводить до зменшення інтенсивності коливань вібраційного робочого органу, відповідно, і глибини збудження відбитої гірничої маси, що сприяє її зависанню;

- для подолання недоліків вібраційного випуску уранових руд з очисних блоків необхідно створити живильники з адаптивним віброприводом,

коливання яких би збільшувались при зростанні реакції від стовпа відбитої гірничої маси та поширювались на більшу її глибину;

- створення вібраційних живильників з адаптивним віброприводом можливе при віброударному збудженні лотка віброживильника та відбитої уранової руди на ньому. При цьому, адаптивність віброприводу відбувається за рахунок зростання динамічного зазору у віброударній системі при зменшенні амплітуд коливань лотка живильника при зростанні реакції стовпа відбитої гірничої маси. При віброударному збудженні відбувається резонансне підсилення коливання лотка та здійснюються його полічастотні коливання і, відповідно, сипкого середовища на ньому. Підсилення коливань відбувається за рахунок виникнення резонансів у системі лоток-робочий орган (ударник) віброударного приводу;

- резонансне збільшення енергій та полічастотні коливання лотка і сипкого середовища сприяють розповсюдженню вібрацій у глиб масиву сипкого середовища, у тому числі, за рахунок збудження низькочастотних складових цих коливань, з енергіями на рівні енергій примусових коливань віброприводу;

- віброживильники з віброударним приводом є двомасними динамічними системами зі збудженням примусових коливань у зарезонансній області. Такі системи є урівноваженими та такими, що не вимагають закріплення рами живильника до підшви гірничої виробки при його установці, а також проведення бетонних робіт по вирівнюванню цієї підшви, що зменшить собівартість випуску.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко, Г.А. Исследования процесса разделения частиц различной плотности в слое горной массы на решетке, совершающем колебания в водной среде / Г.А. Шевченко, В.Г. Шевченко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць./ ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2005. - Вип. 60 – С. 168 – 183.
2. Шевченко, Г.А. Поличастотные грохоты для разделения тонких сыпучих материалов / Г.А. Шевченко, В.Г. Шевченко, А.Р. Кадыров // Збагачення корисних копалин. – Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – Вип. 38 (79). – С. 44 – 50.
3. Пат. 45544 Україна, МПК В07В 1/42. Привод поличастотного грохота / Булат А.Ф., Шевченко Г.А., Шевченко В.Г.; заявители и патентообладатели авторы патента. - № u200906845; заявл. 30.06.09; опубл. 10.11.09, Бюл. №21. – 2 с.
4. Булат, А.Ф. Влияние поличастотных колебаний просеивающих поверхностей вибрационных грохотов на разделение сыпучих материалов / А.Ф. Булат, Г.А. Шевченко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 4. – С. 92 – 97.
5. Шевченко, Г.А. Обоснование параметров колебаний сит поличастотных вибрационных грохотов / Г.А. Шевченко, А.А. Бобылёв, М.А. Ищук // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 5. – С. 64 – 71.
6. Бобылёв, А.А. Вычислительные алгоритмы моделирования и анализа нелинейных колебаний систем с односторонними связями / А.А. Бобылёв, Г.А. Шевченко, М.А. Ищук // Математичні проблеми технічної механіки – 2010: Матеріали міжнародної наукової конференції. - Дніпродзержинськ, 2010. – С. 115.
7. Шевченко, Г.А. Исследования режимов колебаний виброударного осциллятора / Г.А. Шевченко, А.А. Бобылёв, М.А. Ищук // Вібрації в техніці та технологіях. –2012. – № 1 (65). – С. 56–59.

REFERENCES

1. Shevchenko, G.A. and Shevchenko, V.G. (2005), «Researches of process of division of particles of a different closeness in the layer of mine mass on a sieve accomplishing vibrations in a water environment», *Geo-Technical Mechanics*, no. 60, pp. 168–183.

2. Shevchenko, G.A., Shevchenko, V.G. and Kadyrov, A.R. (2009), «Poly-frequency screens for the division of thin friable materials», *Zbagachennya korysnykh kopalyn*, Dnipropetrovs'k: NGU, vol. 38 (79), pp. 44–50.

3. Bulat, A.F., Shevchenko, G.A. and Shevchenko, V.G.; заявитель і патентособственик авторы патента (2009), *Privod polichastotnogo grokhota* [Drive of poly-frequency screen], Dnepropetrovsk, UA, Pat. 45544.

4. Bulat, A.F. and Shevchenko, G.A. (2010), «Influence of poly-frequency vibrations of sifting surfaces of vibration screens on the division of friable materials», *Naukovy visnyk Natsionalnogo girnychogo universytetu*, Dnipropetrovsk, vol. 4, pp. 92–97.

5. Shevchenko, G.A., Bobyljov, A.A. and Ishchuk, M.A. (2010), «Ground of parameters of vibrations of sieves of poly-frequency vibration screens», *Naukovy visnyk Natsionalnogo girnychogo universytetu*, Dnipropetrovsk, vol. 5, pp. 64–71.

6. Bobyliov, A.A., Shevchenko, G.A. and Ishchuk, M.A. (2010), «Computational algorithms of design and analysis of nonlinear vibrations of the systems with one-sided communications», *Matematychni problemy tehnichnoi mekhaniky: Materialy mizhnarodnoi naukovoï konferentsii*, Dniprodzerzhynsk, p. 115.

7. Shevchenko, G.A., Bobyljov, A.A. and Ishchuk, M.A. (2012), «Researches of the modes vibrations of vibro-percussive oscillator», *Vibratsii v tehnici ta tekhniyakh*, vol. 1(65), pp. 56–59.

Про авторів

Шевченко Володимир Георгійович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Шевченко Георгій Олександрович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії вібраційної обробки мінеральної сировини, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, gashevchenko@ua.fm.

Лебідь Геннадій Борисович, магістр, провідний інженер-конструктор, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна.

Суценко Олександр Іванович, магістр, інженер-конструктор I кат., Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна.

About the authors

Shevchenko Volodymyr Georgiyovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, V.Shevchenko@nas.gov.ua.

Shevchenko Georgiy Oлександрovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Senior Researcher, Head of Laboratory of Vibratory Processing of Mineral Raw Materials, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, gashevchenko@ua.fm

Lebed Gennady Borysovych, Master of Science, Senior Design Engineer, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine.

Sushchenko Olersandr Ivanovych, Master of Science, Design Engineer 1st cat., N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine.

Аннотация. Выполнен анализ факторов, влияющих на производительность и безопасность выпуска из дучек урановых руд вибрационными питателями. Разработаны предложения по совершенствованию методов и средств выпуска из дучек урановых руд вибрационными питателями. Для преодоления недостатков вибрационного выпуска урановых руд из очистных блоков предложено использовать питатели с адаптивным виброприводом, колебания которых бы увеличивались при росте реакции от столба отбитой

горной массы и распространялись на большую ее глубину. Создание вибрационных питателей с адаптивным виброприводом возможно при виброударных возбуждениях лотка вибропитателей и отбитой урановой руды на нем. Адаптивность вибропривода осуществляется за счет роста динамического зазора в виброударной системе при уменьшении амплитуд колебания лотка питателя при росте реакции столба отбитой горной массы. При виброударных возбуждениях происходит резонансное усиление колебания лотка и осуществляются его поличастотные колебания и, соответственно, сыпучей среды на нем. Использование питателей с виброударным приводом снизит себестоимость, повысит производительность и безопасность выпуска урановых руд из дучек.

Ключевые слова: выпуск урановых руд из дучек, питатели, виброударный привод, резонансные колебания, производительность и безопасность.

Annotation. In the article, factors, which impact on productivity and safety of uranium-ore drawing from the draw hole with the help of vibratory feeders, are analyzed. Proposals were developed, which improved methods and means for uranium-ore drawing from the draw holes by vibratory feeders. In order to overcome drawbacks of vibrating uranium-ore drawing from the mining panels, it is proposed to use feeders with adaptive vibratory drive, whose oscillations would increase with the grown reaction of the column of the broken rock mass and propagate deeper into the rock thickness. Creation of vibratory feeders with adaptive vibratory drive is possible with vibro-impact excitations of the tray in the vibratory feeders with broken uranium ore on it. Adaptability of the vibratory drive is realized through the grown dynamic gap in the vibro-impact system with decreased amplitude of the feeder tray oscillation and with grown reaction of the column of the broken rock mass. With vibro-impact excitations, oscillations of tray and, accordingly, medium flowing on it, are amplified resonantly together with the tray poly-frequency oscillations.

Use of feeders with vibro-impact drive will reduce prime cost of uranium-ore drawing from the draw holes and increase its productivity and safety .

Keywords: uranium-ore drawing from the draw holes, feeders, vibro-impact drive, resonance oscillations, productivity and safety.

Стаття поступила до редакції 28.07.2017

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.І. Дирдою