

17. **Moth N.F.** Fracture of metals. Theor. Conq. Enqng. 1948. V.1657 № 16.p.321-348.
18. **Григорян С.С.** Некоторые вопросы математической теории деформирования и разрушения твердых горных пород // ПИММ, 1967. – Т.31. – С.157-245.
19. Комплексное исследование действия взрыва в горных породах / **Э.О. Миндели, Н.Ф. Кусов, А.А. Корнеев, Г.И. Марцинкевич**, – М. : Недра, 1978. – 253 с.

Рукопис подано до редакції 26.04.2023

УДК 622.646:621.86.067.2

Ю.Г. ГОРБАЧОВ, канд. техн. наук, проф., **А.О. ХРУЦЬКИЙ**, канд. техн. наук, доц.,
Вік.А. ГРОМАДСЬКИЙ, канд. техн. наук, ст. викл., доц., **О.С. МАРЮСИК**, магістр
Криворізький національний університет

УДОСКОНАЛЕННЯ ВАЖКОГО ВІБРОЖИВИЛЬНИКА З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ЧИСЛА ЗАВИСАНЬ РУДИ У ВИПУСКНІЙ ВИРОБЦІ

Мета. Метою роботи є підвищення експлуатаційної продуктивності віброживильників важкого типу, зайнятих на випуску гірничої маси з очисних блоків залізорудних шахт. Внаслідок нерівномірності гранулометричного складу відбитої руди у блоці та наявності певного відсотку шматків негабаритних розмірів випуск гірничої маси, незважаючи на інтенсифікацію процесу за допомогою вібрації, все ж таки супроводжується зависаннями та утворенням склепін у випускних виробках. Ліквідація зависань як механічним, так і підривним способами пов'язана зі значними витратами робочого часу та вибухівки, а також високою небезпекою для обслуговуючого персоналу. Зниження числа зависань руди сприятиме суттєвому підвищенню ефективності використання віброживильників та зростанню експлуатаційної продуктивності очисного блоку. Таким чином, тема дослідження важлива та актуальна.

Методи дослідження. Аналіз процесу випуску гірничої маси з очисних блоків підземних рудників показує, що заміна некерованого гравітаційного випуску руди вібраційним забезпечує можливість значного його прискорення. Але повністю позбавитися зависань та склепоутворень матеріалу у випускних виробках при цьому не вдається. На підставі вивчення закономірностей вібраційного витікання сипких вантажів з ємностей зроблено висновок про необхідність підвищення інтенсивності впливу робочого органу вібромашини на матеріал.

Наукова новизна. Запропоновано підвищення ступеня заглиблення робочого органу віброживильника під навал стовпа гірничої маси у випускній виробці шляхом змінення його конфігурації та використання принципу секційності.

Практична значимість. Удосконалення конструкції віброживильника дасть можливість підвищити інтенсивність динамічного впливу робочого органу машини на гірничу масу у випускній виробці, забезпечити безупинний процес її витікання та сприятиме руйнуванню утворених зависань.

Результати. Запропоновано технічні рішення для зменшення числа зависань під час вібраційного випуску руди віброживильниками важкого типу за рахунок удосконалення конструкції робочого органу.

Ключові слова: випуск руди з очисних блоків, зависання руди, експлуатаційна продуктивність, віброживильник важкого типу, вібропривод, робочий орган віброживильника у «два кута».

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Одним з основних і найбільш трудомістких технологічних процесів підземної розробки міцних руд є очисне виймання гірничої маси, яке представляє собою завершальну стадію видобутку корисної копалини, під час якої попередньо подрібнена масовим вибухом в обсязі очисного блоку руда випускається на горизонт доставки, через рудозвальні виробки скидається на нижче лежачий транспортний горизонт, по якому відвозиться до шахтного стовбура і піднімається на поверхню скіповою підйомною установкою [1,2].

Довгий час єдиним способом випуску відбитої руди з блоку залишався гравітаційний, який характеризується витіканням гірничої маси з очисного простору через випускні отвори під дією її власної ваги. Такий процес супроводжується частими зависаннями руди у стиснених умовах випускних отворів через зустрічі та взаємні заклинення декількох крупних шматків матеріалу. Крім того, спостерігається явище утворення стійких зводів гірничої маси внаслідок її злежування, особливо після певного часу перебування у стані спокою [2-4].

Усе сказане стає причинами зупинок процесу випуску і вимагає заходів щодо їх усунення. Розблокування зависань і склепоутворень можливо ручним способом за допомогою різного ро-

ду жердин, але це украй небезпечно та неефективно. Для використання механічних способів руйнування зависань випускні виробки потрібно обладнати відповідними пристроями впливу на завислу руду, що здорожчує процес випуску і так само не витримує жодної критики з точки зору безпеки праці. Найбільш ефективним слід визнати вибуховий спосіб ліквідації зависання і зводів, хоча й він не вільний від недоліків – операція установки заряду впритул до зависання, знову ж таки, є небезпечною для підривника, а після підриву вибухівки потрібен певний час для вентиляції випускної та доставкової виробок.

Усі описані способи вимагають значних витрат робочого часу на дії, безпосередньо не пов'язані з видобутком руди. За даними підземних рудників Кривбасу, при використанні гравітаційного випуску з випускного отвору підземного очисного блоку між двома черговими зависаннями вдається безперешкодно випустити від 10 до 80 т руди (в середньому не більше 35 т) [5]. Для подібного очисного забою зі скреперною доставкою руди, продуктивність якого не перевищує 15 тис. т руди на місяць [6], кількість зависань протягом місяця наближається до 430 випадків. Якщо оцінити витрати часу на ліквідацію одного зависання у межах 20-30 хв., що є досить реальною величиною [5], то за місяць це у підсумку вимагатиме 20-30 повних робочих змін, тобто 22-33% усього фонду робочого часу при трьохзмінному безперервному робочому тижні.

Ситуація суттєво покращилася з широким впровадженням вібраційних технологій і техніки у гірничому виробництві. Вібраційний випуск руди за допомогою спеціальних установок – вібраційних живильників – забезпечив можливість реалізації інтенсивного динамічного впливу на гірничу масу вібраційними коливаннями певної частоти і певної амплітуди. Завдяки цьому дискретне середовище сипкого матеріалу набуває нових властивостей: вібрації знижують коефіцієнти тертя між його частинками та ними і стінками випускної виробки, в результаті чого гірничу масу стає більш плинною (так називане явище «псевдозрідженості») і краще витікає під дією гравітаційних сил. Процес випуску стає безупинним і керованим [1,3-12].

Використання вібраційного способу випуску дає можливість у 4-5 разів знизити кількість зависань гірничої маси у випускних виробках і довести середню дозу випущеної між двома зависаннями руди до 150-200 т. Це суттєво скорочує непродуктивні витрати робочого часу, але повністю позбутися зависань все ж таки не вдається. Наявність у гірничій масі певної кількості негабаритних шматків викликає їх заклинання у випускних отворах. Тому задача подальшого удосконалення конструкцій віброживильників з метою підвищення інтенсивності їх впливу на зависання руди залишається дуже важливою та актуальною.

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасні конструкції віброживильників важкого типу відрізняються високим технічним рівнем і забезпечують значні показники призначення та надійності. Розрахункова теоретична продуктивність кращих зразків такої техніки сягає величини майже 500 м³/год (до 1200 т/год для руди густиною 2,5 т/м³) [3,4]. Але в реальних умовах експлуатації, з урахуванням витрат часу на допоміжні операції, ліквідацію відмов та простоїв з різного роду організаційних причин, у тому числі на розблокування зависань руди у випускній виробці, де встановлений живильник, фактична експлуатаційна продуктивність виявляється набагато меншою.

Зв'язок цих двох величин може бути виражений за допомогою наступної формули [13]

$$Q_{\phi} = \frac{(T_{зм} - T_{п.з} - T_{р.п}) Q_{т}}{1 + \frac{Q_{т} t_{л.з} n_{зав} \gamma}{1000}}$$

де Q_{ϕ} і $Q_{т}$ – відповідно фактична і теоретична змінні продуктивності віброживильника для випуску руди з блоку, м³/зміну; $T_{зм}$, $T_{п.з}$ і $T_{р.п}$ – тривалість відповідно робочої зміни, підготовчо-заклучних операцій та регламентованих перерв протягом зміни, хв.; $t_{л.з}$ – час, що витрачається на ліквідацію одного зависання (разом із провітрюванням виробки), хв.; $n_{зав}$ – число зависань, що припадає на 1000 т випущеної руди; γ – насипна густина руди, т/м³.

З приведеної формули добре видно, що одним з можливих резервів підвищення експлуатаційної продуктивності вібраційних живильників є зменшення числа зависань $n_{зав}$ гірничої маси і витрат часу $t_{л.з}$ на їх ліквідацію. В роботі [13] також відзначається, що формування зависань відбувається в результаті зустрічі та взаємного заклинання 1-5 шматків руди, причому майже половина з них утворюється 3-5 шматками.

Зменшити число зависань можна шляхом удосконалення робочого органу вібраційного живильника та раціонального розташування його у випускній виробці. Що стосується останнього,

то усі без винятку дослідження провідних спеціалістів у галузі гірничої вібротехніки свідчать: вібраційний випуск забезпечує збільшення активного перетину випускного отвору (перетину, за яким відбувається реальне витікання гірничої маси) за рахунок реалізації заглиблення віброживильника під навал гірничої маси у випускній виробці, а продуктивність віброживильника прямо пропорційна величині цього заглиблення [5,6,8-10]. Наприклад, у роботі [6] стверджується: для вільного та безупинного витікання руди потрібно, щоби глибина забору механізму (тобто, заглиблення у навал матеріалу) була більше критичної. Під останньою розуміється та мінімальна величина забору, при якій відбувається вільне і безперешкодне витікання руди з випускного отвору.

З іншого боку, підвищення величини заглиблення робочого органу віброживильника сприяє зниженню числа зависань гірничої маси у випускному отворі. Справедливість цієї залежності підтверджується графіками, приведеними на рис.1 [13]. Вони побудовані з урахуванням середнього розміру шматка руди $d_{ш}$, а також відстані h_d від площини робочого органу віброживильника до лобовини (місця сполучення випускного отвору зі стелиною випускної виробки). З графіків видно, що збільшення глибини заглиблення з 0,4 до 1,6 м призводить до зменшення числа зависань в середньому удвічі.

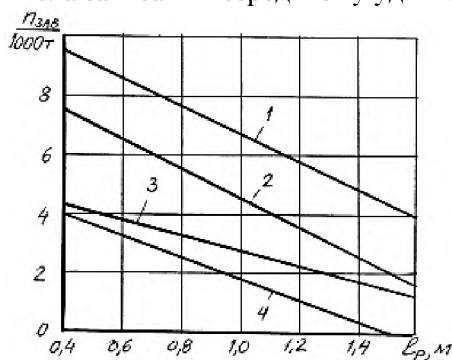


Рис. 1. Залежність числа зависань $n_{зав}$ (на 1000 т видобутку) від величини реального заглиблення l_p віброживильника: 1 – $d_{ш} = 0,64$ м, $h_d = 1,2$ м; 2 – $d_{ш} = 0,64$ м, $h_d = 1,6$ м; 3 – $d_{ш} = 0,52$ м, $h_d = 1,2$ м; 4 – $d_{ш} = 0,52$ м, $h_d = 1,6$ м

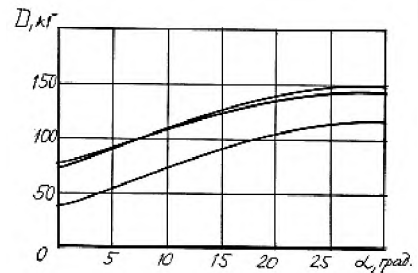
Звісно, кількість зависань залежить також й від інших чинників: гранулометричного складу матеріалу (на рис. 1 видно її суттєве зменшення при зменшенні розміру шматків з 0,64 до 0,52 м), конструкції випускної виробки, інтенсивності випуску. Але у даному випадку нас більше цікавить вплив на процес випуску геометричних параметрів та розташування робочого органу віброживильника.

З огляду на це, для підвищення продуктивності процесу вібраційного випуску гірничої маси представляється доцільним розглянути можливі шляхи збільшення величини заглиблення віброживильника.

Лабораторні та промислові дослідження, проведені свого часу в умовах Криворізького факультету Дніпропетровського металургійного інституту, дали можливість визначити основні закономірності формування потоку руди під час його вібраційного випуску та вплив на нього конфігурації робочого органу віброживильника [5]. Зокрема, у рамках досліджень перевірявся варіант виконання робочого органу «у два кута» (ламаного типу), у якого задня частина (та, що знаходилася під навалом стовпа гірничої маси) мала більший кут нахилу до горизонту, ніж передня.

Дослідження показали, що при невеликій різниці кутів нахилу цих двох частин ($0-5^\circ$) процес випуску руди відбувається у вигляді руху окремих вертикальних шарів гірничої маси, причому швидкості їх руху сильно відрізняються: від максимальної швидкості шару, найближчого до передньої стінки випускної виробки (тобто, найближчого до розвантажувального кінця робочого органу) до мінімальної швидкості протилежного шару, контактного із задньою стінкою випускної виробки. У міру зростання різниці кутів швидкості вертикальних шарів поступово вирівнюються і стають практично однаковими при різниці приблизно у $22-30^\circ$. Одночасно підвищується доза випуску матеріалу D між двома зависаннями внаслідок зменшення числа останніх (рис. 2) [5]. Автори пояснюють це явище наступним чином: коли потік руди з випускного отвору неоднорідний, великі шматки гірничої маси внаслідок різних швидкостей руху вертикальних шарів потоку весь час змінюють свої взаємне розташування, що підвищує ймовірність згаданої вище зустрічі декількох шматків та утворення зводу. У разі ж руху матеріалу у випускному отворі єдиним потоком з однаковою швидкістю усіх його компонентів ймовірність такої зустрічі різко падає. Іншими словами, якщо ці шматки не зустрілися і не утворили зводу до моменту входу у випускний отвір, то й під час його проходження не виникне причин для цього.

Рис. 2. Графік залежності дози випуску D між зависаннями від різниці α кутів нахилу задньої (заглибленої) та передньої частин робочого органу віброживильника: 1 – $h_{п1} = 0,75$ м; 2 – $h_{п1} = 1,0$ м; 3 – $h_{п1} = 1,5$ м



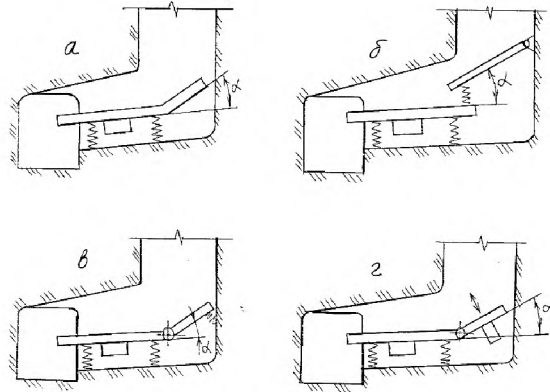
Отже, виконання робочого органу віброживильника «у два кути» забезпечує можливість зменшення числа зависань руди, причому чим більше різниця цих кутів (до певної вказаної межі), тим краще.

Постановка задачі. Метою роботи є зниження непродуктивних витрат часу на ліквідацію зависань гірничої маси під час підземного очисного виймання руди за рахунок різних варіантів змінення конфігурації робочого органу віброживильника і забезпечення таким чином більшого ступеня його заглиблення під навал гірничої маси у випускному отворі очисного блоку.

Викладення матеріалу та результати досліджень. Проведений аналіз науково-технічної інформації переконливо довів необхідність конструктивного удосконалення робочих органів віброживильників важкого типу для зниження числа зависань випущеної руди.

Для реалізації поставленої мети рекомендується використання декількох конструктивних варіантів виконання робочого органу вібраційного живильника у «два кути», які забезпечують скорочення числа зависань руди у випускних виробках очисного блоку шляхом підвищення ефективності динамічного впливу на стовп гірничої маси. Деякі можливі з них показані нижче на рис. 3.

Рис. 3. Схеми можливих варіантів виконання робочого органу віброживильника у «два кути»: а – суцільний робочий орган з піднятим завантажувальним кінцем; б – секційний робочий орган з двома окремими секціями; в – те саме, з шарнірно сполученими секціями; г – те саме, з додатковим вібраційним приводом



На усіх принципових схемах пропонувані варіанти віброживильник зображений під невеликим кутом установки до горизонту ($0-10^\circ$) як це прийнято робити у більшості випадків. Кутом α позначена різниця у кутах нахилу основної транспортно-розвантажувальної (передньої) та заглибленої завантажувальної (задньої) частин робочого органу.

Робочий орган при цьому може мати як суцільне виконання і ламану конфігурацію з піднятим завантажувальним кінцем (рис. 3а), так і секційну конструкцію. Остання може бути у вигляді двох окремих секцій (рис. 3б) [14] або шарнірно сполучених між собою (рис. 3в). В усіх цих варіантах заглиблена частина робочого органу не має приводу і отримує коливання від вібробудника основної частини. Утім, на задню секцію можна встановити додатковий вібропривод (наприклад, ударного типу з живленням від шахтної пневмомережі) (рис. 3г) [15]. В нормальному режимі роботи віброживильника працюватиме лише його основний вібратор (звичай, це конструкція інерційного типу з неурівноваженими масами (дебалансами)). У разі ж, коли вібраційного впливу основного приводу не вистачатиме для розблокування зависання руди у випускній виробці, можна буде тимчасово вмикати додатковий вібратор і потужними ударами задньої секції руйнувати їх.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Практичне застосування пропонуваних технічних рішень виконання робочих органів вібраційних живильників важкого типу повинно забезпечити підвищення ефективності процесу випуску гірничої маси під час підземного очисного виймання руди за рахунок зниження числа зависань у випускних виробках. В результаті можна очікувати скорочення простоїв очисних забойів та зростання внаслідок цього величин їх експлуатаційної продуктивності. Крім того, має підвищитися рівень безпеки очисних операцій через зменшення обсягів підривних робіт.

Наступним кроком у розвитку цього напрямку досліджень повинно стати обґрунтування раціонального режиму віброударного впливу на завислу гірничу масу додаткового приводу задньої секції робочого органу живильника.

Список літератури

1. Гірничі машини та обладнання для добування руд: Навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / **Ю.Г. Горбачов, Б.М. Гопкало, А.С. Громадський, О.С. Ліфенцов, М.С. Плішко, В.А. Семенов, А.О. Хруцький, Ю.І. Чумак, І.А. Шиповський** / Під заг. ред. **А.С. Громадського**. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ. – 2017. – 410 с.
2. **Бизов В.Ф.** Гірничі машини. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». Бібліотека гірничого інженера в 14 томах. Том IX / **В.Ф. Бизов, В.П. Франчук**. – Кривий Ріг: Мінерал, 2004. – 468 с.
3. **Громадський А.С.** Проектування, формування та використання комплексів гірничорудного механізованого обладнання: Навч. посібник / **А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, О.С. Ліфенцов**. – Кривий Ріг: КНУ, 2017. – 229 с.
4. **Громадський А. С.** Проектування гірничих машин і комплексів для видобутку та переробки руд: Навч. посіб. для студ. вищих і серед. спец. навч. закладів / **А.С. Громадський, Ю.Г. Горбачов, А.О. Хруцький, О.С. Ліфенцов**. – Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2017. – 528 с.
5. **Учитель А.Д.** Вибрационный выпуск горной массы / **А.Д. Учитель, В.В. Гушин**. – М.: Недра, 1981. – 232 с.
6. **Каварма И.И.** Комплексы поточного транспорта для подземной разработки крепких руд / **И.И. Каварма, А.В. Бровко**. – М.: Недра, 1986. – 86 с.
7. **Искович-Лотоцкий Р.Д.** Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій / **Р.Д. Искович-Лотоцкий, Р.Р. Обертюх, І.В. Севостьянов** // – Вінниця: Універсум, 2006, - 291 с.
8. **Blechman I.I.** Revisiting the models of vibration screening process / **I.I. Blechman, L.I. Blechman, L.A. Vaisberg, K.S. Ivanov**. – Vibroengineering PROCEDIA, 2014, V. 3, PP. 169-174.
9. **Гончаревич И.Ф.** Вибротехника в горном производстве / **И.Ф. Гончаревич**. – М.: Недра, 1992. – 319 с.
10. Вибрационные машины для выпуска и доставки руды / **В.Н. Потураев, В.И. Дырда, О.К. Авдеев, И.К. Поддубный, В.П. Нагутый, Н.Г. Кравченко, В.Н. Платонов, В.И. Финюгеев**. – К.: Наукова думка, 1981. – 152 с.
11. Вибрации в технике: Справочник. Вибрационные процессы и машины, т. 4 / Под ред. **Э.Э. Лавендела**. - М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
12. **Франчук В.П.** Инженерные методы расчета и выбора динамических параметров вибрационных грохотов, конвейеров, питателей / **В.П. Франчук** // Збірник «Збагачення корисних копалин». Випуск 12 (53). – Дніпропетровськ: НГУ, 2001. – С. 126-143.
13. **Кальницкий А.М.** Расчет фактической производительности вибропитателя для выпуска и доставки руды / **А.М. Кальницкий** // Шахтный и карьерный транспорт. Вып. 11. – М.: Недра, 1990. – С. 151-154.
14. Вибродоставочные комплексы в технологиях разработки рудных месторождений / **В.Н. Потураев, В.И. Дырда, И.К. Поддубный, О.К. Авдеев, Н.А. Гордиенко, А.В. Коваль, В.И. Финюгеев, Н.И. Лисица, А.Х. Дудченко**. АН УССР, Ин-т геотехнической механики – К.: Наукова думка, 1989. – 168 с.
15. **Марюсиук О.С.** Дослідження та удосконалення конструкції віброживильника для випуску руди з блоку: Випускна кваліфікаційна робота магістра. Рукопис / **О.С. Марюсиук**. – Кривий Ріг: КНУ, 2022. – 73 с.

Рукопис подано до редакції 27.04.2023

УДК 692.21:699.844

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., **Д.А. КРИШКО**, канд. техн. наук, ст. викладач,
Д.З. ПАВЛИШАК, магістрант,
Криворізький національний університет

КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ ЛЕГКИХ ОГОРОДЖЕНЬ ПІДВИЩЕНОЇ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЇ

Мета. Розробка ефективних конструктивних рішень багатошарових легких огорожень підвищеної звукоізоляції.

Методи дослідження. Використовувався теоретичний метод дослідження. Інженерний розрахунок виконували графоаналітичним методом, у якому використовують безпосередні залежності характеристик звукоізоляції від параметрів конструкцій, що змінюються під час проектування.

Наукова новизна. Отримано показники частотних характеристик ізоляції повітряного шуму звукоізолювальних асиметричних каркасних перегородок з обшивками з гіпсокартонних листів, що забезпечують порівняно з базовими більш високу акустичну та економічну ефективність. Запропоновано рекомендації з проектування типових технічних рішень асиметричних каркасних перегородок, що забезпечують нормативний шумовий режим у приміщеннях житлових і громадських будівель, а також допоміжних будівель виробничих підприємств.

Практична значимість. Доведено можливість підвищення звукоізоляції асиметричними каркасними перегородками порівняно зі звукоізоляцією симетричними (базовими) каркасно-обшивними перегородками. Розглянуто конструктивні рішення звукоізолюючих асиметричних каркасних перегородок з обшивками з гіпсокартонних листів, що дають змогу розширити можливість застосування цих конструкцій у будівлях різного типу за рахунок підвищення їхньої звукоізоляції в нормованому діапазоні частот, при цьому зменшуючи матеріальні витрати на їхнє зведення. Запропоновано рекомендації з проектування конструкцій звукоізолюючих асиметричних каркасних перегородок з обшивками з гіпсокартонних листів.

Результати. Знайдено кількісні залежності звукоізоляції асиметричними каркасними перегородками від маси і кількості шарів обшивок у всьому нормованому діапазоні частот від 100 до 3150 Гц. Техніко-економічний аналіз вартості монтажу симетричних (базових) і асиметричних каркасних перегородок доводить ефективність застосуван-