

За рахунок використання відходів СМС при будівництві залізниць у залізобетонних блоках можливо суттєве покращення екологічного стану підприємства ПАТ «ІнГЗК» на відвалах та в кар'єрі.

Нова розроблена конструкція верхньої будови залізничної колії є екологічно захищеною від утворювання пилу, допускає роботи з виправлення колії, заміни шпал і рейок.

Список літератури

1. Патент № 151112 України, МПК (2009), E01B 2/00 Верхня будова залізничної колії/ авт. Валоной О.І., Афанасьєв В.В., Валоной М.О., Гавриленко О.Ю., Волков С.О. - опубл. 08.06.22, Бюл.№ 23.
2. ДСТУ Б В.2.7-33-2001 Пісок кварцево-залізистий і тонкодисперсна фракція для будівельних робіт з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів України. Технічні умови. Наказ держбуду України від 31 жовтня 2001 р. № 206.
3. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт.
4. ДСТУ Б В.2.7-32 95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Наказ від 31.10.1995 № 211.
5. СНІП 32-01-95 Залізнична колія 1520 мм. Наказ Мінбуду Росії від 18 жовтня 1995 р. № 18-94.

Рукопис подано до редакції 25.04.2023

УДК 622.235:622.271

Д.Ю. МАЛИХ, гірн. інж., заст. ген. директора з виробництва,
ПАТ «Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат»

Г.І. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц., Д.А. ТІТОВ, магістр, Академія гірничих наук України

УТОЧНЕННЯ РОЗРАХУНКУ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД СВЕРДЛОВИННИМИ ЗАРЯДАМИ З ДИФЕРЕНЦІЙОВАНО РОЗПОДІЛЕНОЮ ВР В ЇХ РЯДАХ

Основною метою дослідження є уточнення розрахунків при математичному моделюванні взаємодії свердловинних зарядів, у яких частини вибухової речовини розосереджені по довжині свердловини інертним матеріалом, які підриваються послідовно. При цьому проаналізовано особливості динамічного навантаження скельного масиву, який підривається, в залежності від послідовності відривання цих зарядів та їх частин. Це уточнення стосується удосконалення методики параметричних розрахунків і спрямоване на вирішення актуальної проблеми – зниження питомої витрати вибухових речовин для руйнування скельних гірських порід.

Методами дослідження є аналіз геомеханічних процесів математичним моделюванням динамічного напруження породного масиву вибухом на відкритих гірничих розробках.

Наукова новизна дослідження полягає в уточненні закономірностей взаємодії енергії вибуху свердловинних зарядів спеціальної конструкції з оточуючим їх скельним масивом.

Практичне значення. Подальший розвиток і виробниче застосування результатів досліджень забезпечить значне зниження собівартості залізничної продукції за рахунок підвищення ефективності бурових і вибухових робіт у залізничному кар'єрі.

Результати. Для теорії і практики ведення вибухових робіт важливо знати особливості формування і взаємодії силових полів свердловинних зарядів ВР, що підривають із затримкою. Основну роль в процесі руйнування гірського масиву за цих умов відіграє конструкція підривних свердловинних зарядів. Підбором мас зарядів з різним співвідношенням їх частин в свердловинах послідовних рядів і варіюванням тривалості затримки між вибухами можна регулювати процес вибухового навантаження в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов ведення вибухових робіт. За рахунок зміни способів формування і порядку підривання зарядів ВР в руйнованому обсязі, можна впливати на процес руйнування, знаючи особливості формування силових полів. З огляду на часові та геометричні характеристики породного масиву, можна припустити, що його напружений стан буде повністю відповідати фізичним параметрам інтегральної зони, за яких втрата енергії вибухових хвиль мінімізується. Отримані результати можуть бути використані для розробки вибухових технологій, заснованих на руйнуванні гірського масиву, приведенного попередньо в напружений стан від вибуху зарядів ВР, конструкція яких пропонується авторами даного дослідження.

Ключові слова: гірська порода, вибух, вибухове руйнування, скельне середовище, свердловинні заряди.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Одним з основних показників ефективності роботи буро-підривного комплексу є якість дроблення підірваної гірни-

чої маси. Складові технології ведення буро-підричних робіт (БПР) значною мірою впливають на характер розподілення енергії вибуху в руйнованому масиві гірських порід і, як наслідок, – на інтенсивність його дроблення. Власне, проблема полягає в незадовільному гранулометричному складі підірваної гірничої маси і на підвищення якості цього показника спрямовано більшість завдань сучасної гірничої науки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основні положення теорії вибухового руйнування кристалічних масивів [1-4] і досвід практики БПР [5-7] переконливо доводить, що одним з найменш досліджених теоретично і не вирішених практично питань є нерівномірний розподіл енергії вибуху в об'ємі масиву, особливо при формуванні навантаження крайової зони уступу, оптимізувати що стає можливим при цілеспрямованому використанні ефектів розвитку тензора напружень динамічної зони руйнування, створюваної силовими полями взаємодіючих свердловинних зарядів приконтурних рядів [8-10]. Саме це й зумовило, що в дослідження закладалася ідея можливості штучного створення та продуктивного використання динамічних ефектів, які проявляються при взаємодії свердловинних зарядів, для вирішення чого задачі досліджень формувалися згідно з нею.

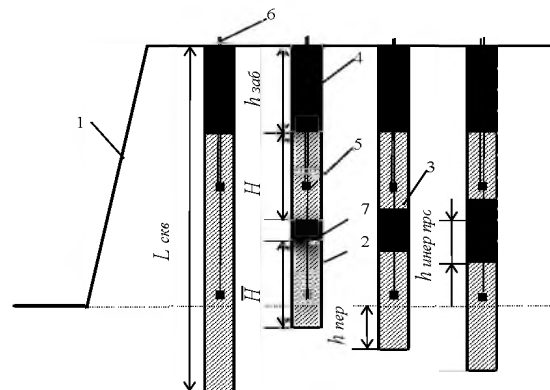
Постановка задачі. Сучасні методи ведення вибухових робіт об'єднує те, що уступ гірських порід, який руйнується, піддається вибуховому впливу від раніше виконаних вибухів. Вочевидь, що наявність негабаритної фракції, зазвичай, пов'язана з тим, що гірський масив, який руйнується, має неоднорідну цілісність через утворення в його верхній частині хаотичної штучної системи структурних порушень і заколів від дії раніше виконаних вибухів, як на верхніх, так і на суміжних уступах. Цей фактор необхідно по-новому враховувати під час визначення параметрів БПР, враховуючи значні непродуктивні втрати енергії вибуху. Основну роль в процесі руйнування гірського масиву за цих умов відіграє конструкція підричних свердловинних зарядів. Підбором мас зарядів з різним співвідношенням їх частин в свердловинах послідовних рядів і варіюванням тривалості затримки між вибухами можна регулювати процес вибухового навантаження в залежності від конкретних гірничо-геологічних умов ведення вибухових робіт. За рахунок зміни способів формування і порядку підричних зарядів ВР в руйнованому обсязі, можна впливати на процес руйнування, знаючи особливості формування силових полів.

Викладення матеріалу та результати. Суттєво зменшити негативний вплив енергії вибуху на законтурний масив найбільш реально шляхом зміни традиційних способів ведення БПР. Для розв'язання даного завдання авторами й було розроблено представлений нижче спосіб руйнування гірських порід свердловинними зарядами з дозовано диференційованою вздовж свердловини ВР розосередженого заряду.

У вибуховій справі розроблено багато технологічних прийомів, що дозволяють керувати процесом розподілу енергії вибуху в породному масиві, залежно від конкретних гірничо-геологічних умов ведення БПР. Для отримання необхідного результату варіюють просторовим розташуванням зарядів ВР у гірському масиві, конструкцією зарядів, а також – часом та послідовністю їх підричання.

Розроблений спосіб полягає в тому, що при підготовці рудного тіла для руйнування бурять свердловини 2 і формують у них заряди ВР 3, як показано на рис. 1. Свердловини на уступі 1 буряться відповідно до розробленого паспорта БПР, виходячи з технології гірничих робіт і фізико-механічних властивостей гірських порід.

Рис. 1. Спосіб руйнування гірських порід свердловинними зарядами з лінійно диференційованою ВР: 1 – уступ; 2 – свердловини; 3 – заряд ВР; 4 – забійка; 5 – проміжний детонатор; 6 – хвилеводи; 7 – інертний проміжок



У розробленому способі буріння свердловин і формування свердловинних зарядів, здійснюються при виконанні умови

$$H \geq \bar{H}, \quad (1)$$

де H – довжина верхнього заряду ВР (м); \bar{H} – довжина нижнього заряду ВР (м).

Довжина кожного наступного інертного проміжку та перебурювання, починаючи з друго-

го ряду, визначається з рівняння

$$h_i = \bar{h}_i = h_0 + m(i - 2), (i = 2, 3, \dots); \quad (2)$$

$$m = 0,025 f, \quad (3)$$

де h_0 – мінімально допустима довжина інертного проміжку за паспортом БПР (м); h_i – довжина інертного проміжку i -ї свердловини (м); \bar{h}_i – довжина перебуру i -ї свердловини (м); m – коефіцієнт лінійної диференціації зарядів ВР; f – коефіцієнт міцності порід.

На рис. 2 подано зв'язок між коефіцієнтом лінійної диференціації зарядів ВР і коефіцієнтом міцності гірських порід.

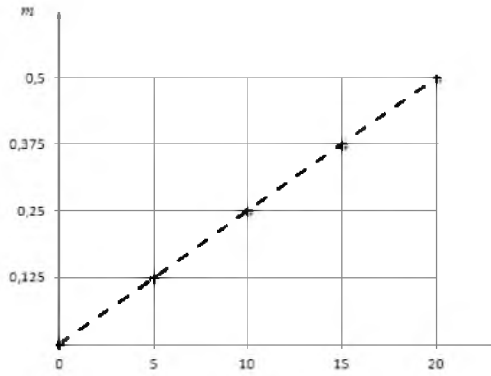


Рис. 2. Залежність між коефіцієнтом лінійної диференціації зарядів ВР (m) і коефіцієнтом міцності порід (f)

Довжина перебуру першої свердловини береться згідно з паспортом БПР для конкретних гірничотехнічних умов. Довжина забійки 4 для першого та для всіх наступних свердловин 2 – величина постійна, обумовлена чинним паспортом. Згідно з паспортом визначаються і параметри заряду ВР для першої свердловини.

У свердловинних зарядах 3, починаючи з другої свердловини 2, використовують інертні проміжки 7, із подальшим їх збільшенням за аналогічним алгоритмом, як і для випадків формування перебурування.

При цьому співвідношення між довжиною верхнього заряду ВР та нижнього заряду має бути більшим або однаковим в усіх свердловинних зарядах ВР 3, у верхній і нижній частинах, установлюють проміжні детонатори 5. Використовуючи при розрахунках свердловинних зарядів коефіцієнт m лінійної диференціації, можна формувати заряди так, щоб знизити одночасно негативний вибуховий вплив, як на нижній лежачий, так і на суміжний уступі. Це досягається за рахунок перерозподілу енергії ВР у руйнованому уступі порід.

Слід зазначити, що використання коефіцієнта лінійної диференціації m дозволяє дуже легко проводити розрахунок параметрів свердловинних зарядів ВР при впровадженні розробленого способу (рис. 3).

Дослідимо процес руйнування гірського масиву при вибухових навантаженнях. Під час вибуху свердловинного заряду в масиві, руйнування відбувається в області, що безпосередньо прилягає до вибухової камери. Рівняння руху границі останньої згідно з [11] має вигляд

$$\frac{da'}{d \ln a} + a_i (a')^2 + \gamma_2 a^{4\gamma_1} \left(\frac{\varepsilon^{-2\nu_1} - 1}{2\nu_1} + \ln \left(\frac{(1+h) \cdot a'}{\varepsilon'_0 \cdot a} \right) - \varepsilon^{-2\nu_1} \ln \left(\frac{1+n}{\varepsilon'_0} \cdot \varepsilon^{\frac{2}{1+n}} \cdot \frac{a'}{a} \right)^{2\nu_1} = \frac{\beta_1}{\rho_0} P(a) + \gamma_1, \quad (4)$$

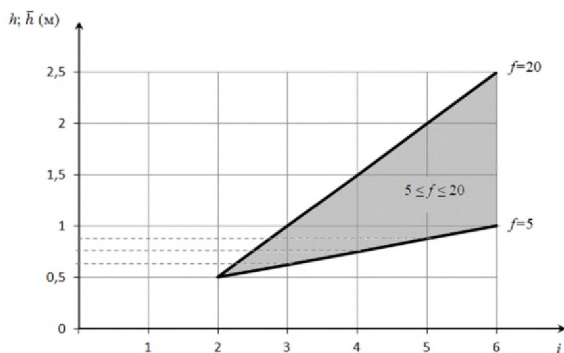


Рис. 3. Розрахунок параметрів свердловинних зарядів ВР (i – номер свердловини)

Аналітичне рішення, що визначає радіус порожнини в поточний момент часу згідно з (4)

$$a''^2 = \frac{c_1}{a^{\alpha_1}} + \frac{\gamma_1}{\alpha_1} + \frac{\beta_1 P}{\rho_0 (\alpha_1 - 3\gamma)}, \quad (5)$$

де c_1 – стала інтегрування; $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \gamma_2$ – функції, що залежать від A, k, δ – швидкості дилатації середовища, коефіцієнта зчеплення й кута внутрішнього тертя відповідно.

Значення n визначено як $n = (1 - A) / (1 + A)$.

З віддаленням від центру вибуху напруження зменшується, у результаті чого навколо заряду після зони «перемелювання» утворюється зона радіальних тріщин. Однією з моделей такої системи є система паралельних тріщин [2, 12]. Принцип крихкого руйнування тіла, згідно з яким розвиток тріщин відбувається тільки, якщо швидкість звільнення енергії пружної деформації перевищить приріст поверхневої енергії тріщини, був сформульований у [13]

$$\frac{\partial \Delta U}{\partial t} > 4\gamma, \quad (6)$$

де ΔU – зміна пружного потенціалу внаслідок наявності тріщини; γ – поверхнева енергія одиниці вільної поверхні.

Значення ΔU дорівнює добутку середньої площі області концентрації напружень на середнє значення щільності пружного потенціалу, пропорційному $P^2 \cdot E^{-1}$, тобто

$$\Delta U = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot l^2 \cdot P^2 \cdot E^{-1}, \quad (7)$$

де l – довжина тріщини (м); P – значення тиску, за якого відбувається розвиток тріщини (Па).

Так як початковий пружний потенціал середовища не залежить від довжини тріщини l , то згідно з останньою формулою

$$2E\gamma = \sqrt{\frac{2}{\pi}} P^2 l. \quad (8)$$

З останнього рівняння одержимо залежність навантаження від довжини тріщини, Па.

$$P^2 = \frac{2(\pi E\gamma)^2}{l}, \quad (9)$$

На початку зі збільшенням навантаження P довжина початкової тріщини l_0 залишається незмінною, поки не досягається значення P , після чого починається процес розвитку тріщини.

Однією з перших робіт, присвячених опису процесу розвитку тріщин і відповідаючою реальним умовам руйнуванням твердішого середовища, була робота [14].

З умови, що

$$\frac{\partial W}{\partial l} = \frac{\partial \Pi}{\partial l} + \frac{\partial T}{\partial l} \quad (10)$$

була отримана формула, яка визначає швидкість розвитку тріщини

$$V = K \sqrt{\frac{E}{P}} \times \left(1 - \frac{l}{l_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

де W – потенціальна енергія деформації; Π – поверхнева енергія; l_0 – довжина рівноважної тріщини; K – емпірична константа; T – кінетична енергія.

Надалі в роботах [15, 16] вираз набув вигляду

$$\frac{\partial W}{\partial l} = \frac{\partial \Pi}{\partial l} + \frac{\partial T}{\partial l} - \left(\frac{\partial}{\partial t}\right) \int \rho \left(\frac{u \partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{v \partial^2 v}{\partial t^2} \right) dx dy, \quad (12)$$

де u і v – потенціали вектора зміщення.

Кінетична енергія при вибуху серії зарядів ВР визначається [17, 18] як, Дж

$$T = T_1 + T_2, \quad (13)$$

де T_1 – енергія, отримана в результаті імпульсного впливу вибуху, Дж; T_2 – енергія стиснених вибухових газів, Дж.

Складові кінетичної енергії середовища з урахуванням (13), відповідно дорівнюють

$$T_1 = \frac{2\pi\rho_0 \times a'^2 a^3}{3 - 2n} \left(1 - \varepsilon^{\frac{2n-1}{n+1}}\right) \quad (14)$$

$$T_2 = \frac{4\pi\rho_0 \times a^3}{3(y-1)} \left(\frac{a_0}{a}\right)^{3y} \quad (15)$$

де a_0 , a – відповідно, радіус вибухової порожнини в початковий та поточний момент часу.

Формули (14) та (15) визначено за умови, що кінетична енергія, яка припадає на одиницю довжини циліндричного заряду, визначається [18] як, Дж

$$W = \frac{\rho_0 \pi a'^2 \times a^2}{2(n-1)}. \quad (16)$$

Схеми побудови математичних моделей вибухового руйнування твердого середовища ґрунтуються на якісному аналізі явища, що розглядається. Причому, за необхідності, складні процеси розчленовуються на окремі гранично прості блоки, що враховують лише основні риси

явища. Після формулювання зроблених припущень, окремі блоки зводяться в одне рішення поставленої задачі в цілому. Досліджуючи дію вибуху заряду ВР, оточеного з усіх боків суцільним середовищем, зроблено припущення про нестисливість твердого середовища та про миттєвість дії вибуху [19]. У цьому було поставлено завдання визначення рівняння руху середовища. Навколо довільної точки простору було розглянуто елементарний паралелепіпед, ребра якого – паралельні осям координат і дорівнюють відповідно dx , dy , dz .

Розглянувши потік середовища, що проходить через кожну грань, була отримана загальна маса, що вийшла з цієї області

$$\left(\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right) dx dy dz, \quad (17)$$

де u , v , w – проєкції вектора швидкості довільної точки середовища.

Маса в паралелепіпеді за одиницю часу складе

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz. \quad (18)$$

Виходячи з того, що загальна кількість маси не змінюється, сума значень (17) і (18) повинна дорівнювати нулю

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0. \quad (19)$$

Оскільки розглядається не стисливе середовище, тобто $\rho = \text{const}$; $\partial \rho / \partial t = 0$ (20), то рівняння (19) набуває вигляду

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \times \frac{\partial p}{\partial x}; \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \times \frac{\partial p}{\partial y}; \quad \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \times \frac{\partial p}{\partial z}. \quad (21)$$

Випадок нестислого середовища є важливим тому, що за цієї умови всі рівняння спрощуються і їх вирішення може бути доведено до кінця. Необхідно також відзначити, що далі рівняння (23) пов'язує величину і напрям вектора швидкості в будь-якому місці поля швидкостей з відповідною зміною щільності середовища і є основним у всіх розрахунках руху суцільного середовища.

При розгляді рівнодіючих сил, які діють на протилежні грані елементарного паралелепіпеда, що розглядається, були отримані три рівняння, які разом з рівнянням (26) утворюють систему чотирьох диференціальних рівнянь у часткових похідних першого порядку, що визначають чотири невідомі функції ρ , u , v , w .

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{\rho} \times \frac{\partial P}{\partial x}; \quad \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \times \frac{\partial P}{\partial y}; \quad \frac{\partial w}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \times \frac{\partial P}{\partial z}. \quad (22)$$

де p – тиск, що діє на довільну точку середовища при вибуховому впливі.

При введенні функції φ , що є потенціалом швидкості, визначаємо її як

$$\varphi = S / \rho, \quad (23),$$

де S – значення питомого імпульсу, та при інтегруванні по часу t рівняння (21) отримано рівняння

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (24)$$

Для з'ясування фізичної сторони процесу вибухового навантаження твердого середовища завдання, що розглядається, зводиться до вирішення одного диференціального рівняння (24).

Знаючи потенціал швидкості, можна обчислити кінетичну енергію, яку надає тверде середовище вибухом заряду. Якщо позначити елемент поверхні заряду dF , а через v – значення нормальної складової швидкості, то емпірична робота dQ дорівнюватиме

$$dQ = \frac{sv}{z} dF. \quad (25)$$

Знаходячи швидкість v , як похідну від φ по нормалі n до поверхні F , і враховуючи, що $s = \rho \varphi$, остаточно маємо

$$dQ = \frac{\rho \varphi}{2} \times \frac{\partial u}{\partial n} dF \quad (26)$$

Виконавши інтегрування по всій поверхні заряду F , отримаємо повну енергію, акумульовану середовищем

$$Q = \frac{\rho}{2} \int_F \varphi \frac{\partial u}{\partial n} dF \quad (27)$$

З огляду на те, що в нестисливому середовищі втрат енергії немає, остання формула дає точне значення кінетичної енергії вибуху, отриманої середовищем при ініціюванні свердловинного заряду. Повна енергія вибуху, що акумулюється середовищем під час вибуху серії зарядів ВР ($S=1, \dots, k$) (27) визначається як

$$Q_\Sigma = \frac{\rho}{2} \left(\sum_{s=1}^k \int_F \varphi_s u'_{ns} dF \right). \quad (28)$$

А через величину питомого імпульсу –

$$Q_\Sigma = \frac{1}{2} \left(\sum_{s=1}^k \int_F S_s u'_{ns} dF \right). \quad (29)$$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Якість дроблення підірваної гірничої маси є одним з основних показників ефективної роботи буро-підривного комплексу. Останнє багато в чому залежить від ефективної технології ведення вибухових робіт, що включає способи розміщення, формування та ініціювання свердловинних зарядів ВР. Ці складові технології ведення вибухових робіт значною мірою визначають характер розподілу енергії вибуху в масиві гірських порід, що руйнуються. Визначення залежності між цими процесами – одне з головних завдань теорії руйнування твердих тіл під час вибуху в аплікації до реалізації конкретного технологічного масового вибуху. В ході даного дослідження було визначено кінетичну енергію, яка передається середовищу, що руйнується вибухом серії свердловинних зарядів з лінійно диференційованою ВР.

Використовуючи при розрахунках свердловинних зарядів коефіцієнт лінійної диференціації m , можна формувати заряди так, щоб знизити одночасно негативний вибуховий вплив на суміжний масив. Це досягається за рахунок перерозподілення ВР у руйнованому уступі гірських порід, і тим самим зменшуються зони хаотичної штучної системи структурних порушень і заколів від дії масового технологічного вибуху.

Список літератури

1. Физика взрыва / Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др./ Под. ред. К.П.Станюковича. - М.: Наука, 1975. - 407 с.
2. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. – Новосибирск: Наука, 1977. - 259 с.
3. Баренблатт Г.И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении. – ПМТФ, 1969. - № 4. - С. 3-56.
4. Persson P.A., Holmberg R. and Jailing, L. – Rock Blasting and Explosives Engineering, CRC Press, London, 1994. PP 540.
5. Перегудов В.В., Жуков С.А. Пути повышения качества взрывных работ при разрушении горных пород сложной структуры. Монография. - Кривой Рог: Издательский дом, ISBN 966-7388-47-6. 2002. - 305 с.
6. Антонов А.Ю., Кириченко И.А. Разработка технологии отбойки на нижних горизонтах железорудных карьеров // Вісник КТУ. Кривий Ріг: КТУ, 2004 - № 5. – С.16-20.
7. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Часть 1. - М.: Горная книга, 2009. - 471 с.
8. Фролов О.О. Використання ефекту зустрічі детонаційних хвиль для підсилення дії вибуху на рівні підшви уступу // Вісник НДУУ «КП» / Гірництво. – Київ: НГУУ «КП»: ЗАТ «Техновибух», 2002. – С.63-65.
9. Бетин В.Д. Развитие детонации в скважинных зарядах с полыми цилиндрами // Разработка рудных месторождений. Научно-техн.сб. – Кривой Рог: изд-во КТУ, 2003. – Вып. 83. – С.68-74.
10. Бичук В.Е. Результаты исследования характера распределения напряжений вокруг зарядов сложной конструкции // Совершенствование буровзрывных работ. М.: Недра, 1977. – С.89-92.
11. Партон В.З., Черепанов Г.П. Механика разрушения // Механика в СССР за 50 лет. – М.: Наука, 1972. – Т.3.
12. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids. Phil. Trans. Roy. Soc. A 221, 1920, p.1201-1206.
13. Рижов П.А. Математическая статистика в горном деле. М.: Высшая школа, 1973. – 286 с.
14. Кашель Н.Я. Результаты промышленной проверки скважинных зарядов с воздушными промежутками / Н.Я. Кашель, П.И. Федоренко, С.Н. Кузьмич // Взрывное дело. – 1964. – № 54/11.
15. Изыскание эффективной конструкции заряда ВВ / Е.Г. Баранов, В.П. Фролов // Цветная металлургия. – 1965. – № 22. – С. 23–26.
16. Друкованый М.Ф. Об оценке использования энергии взрыва при различных параметрах буровзрывных работ / М.Ф. Друкованый, В.М. Комир // Взрывное дело. – 1966. – С. 45–49.

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 позбутися 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-