

УДК 622.235.535

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОХИБОК СПОВІЛЬНОВАЧІВ У ПОВЕРХНЕВИХ ХВИЛЕВОДАХ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НЕЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ІНІЦІЮВАННЯ «ІМПУЛЬС» НА ЯКІСТЬ ВИБУХУ

В. В. Бойко, С. Ю. Богуцький

Інститут гідромеханіки НАН України

вул. Желябова, 8/4, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: serg1989_07@mail.ru

В. М. Вознюк

Міжвідомча асоціація «Укрвибухпром»

просп. Науки, 10, м. Київ, 03039, Україна. E-mail: mefodich@ukr.net

Проведено аналіз схем короткосповільненого підривання, змонтованих по неелектричній системі ініціювання, щодо визначення впливу похибок сповільнювачів у поверхневих хвилеводах на якість вибуху. Встановлені інтервали сповільнення з номінальним режимів, в яких кожною свердловиною, що підривається окремо, утворюється найбільша кількість нових поверхонь оголення, але за рахунок похибки спрацювання хвилеводів такий механізм не реалізовується, що призводить до підвищення сейсмічного ефекту вибуху і виходу негабаритних фракцій. Розроблені рекомендації щодо унеможливлення допущення цих похибок і утворення, тим самим, додаткових площин оголень кожного заряду, що дозволить забезпечити потрібну якість подрібнення гірничої маси з одночасним зниженням сейсмічного ефекту.

Ключові слова: хвилевод, сейсмічний ефект, площина оголення, якість подрібнення.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛНОВОДОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ «ИМПУЛЬС» НА КАЧЕСТВО ВЗРЫВА

В. В. Бойко, С. Ю. Богуцкий

Институт гидромеханики НАН Украины

Ул. Желябова 8/4, г. Киев, 03680, Украина. E-mail: serg1989_07@mail.ru

В. М. Вознюк

Межведомственная ассоциация «Укрвзрывпром»

просп. Науки, 10, г. Киев, 03039, Украина. E-mail: mefodich@ukr.net

Проведен анализ схем короткозамедленного взрывания, смонтированных по неэлектрической системе иницирования, и влияние погрешностей замедлителей в поверхностных волноводах на качество взрыва. Установлены интервалы замедления с номинальных режимов, в которых каждая скважина, взрываема отдельно, образует наибольшее количество новых плоскостей обнажения, но за счет погрешности срабатывания волноводов такой механизм не реализовывается, что приводит к повышению сейсмического эффекта и выхода негабаритных фракций. Разработаны рекомендации для избежания допущения этих погрешностей и образованием, тем самым, дополнительных плоскостей обнажений каждого заряда, что даст возможность удовлетворить нужное качество дробления горной массы с одновременным снижением сейсмического эффекта.

Ключевые слова: волновод, сейсмический эффект, плоскость обнажения, качество дробления.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Одним з найбільш ефективних способів підвищення ступеню подрібнення масивів міцних гірських порід – є багаторядне короткосповільнене підривання (КСП) [1–8]. Під час монтажу схем КСП за останні роки використовують системи неелектричного ініціювання зарядів (СІН), у той час як метод розрахунку інтервалів сповільнення і практичне їх застосування проводиться без урахування режимів, в яких при взаємодії сусідніх зарядів, кожна свердловина, яка підривається з оптимальним інтервалом сповільнення, утворює нові поверхні оголення. Тому при практичному використанні в СІН інтервалів сповільнення, залежно від похибки, яку мають пристрої різних типів поверхневих хвилеводів, вони можуть спрацювати з відхиленням, від оптимальних значень, у більшу або меншу сторону, негативно впливаючи на якість і сейсмоефект вибуху [4–6].

Метою роботи є дослідження похибок сповільнювачів у поверхневих хвилеводах на механізм утворення вільних поверхонь оголення при використанні

станні СІН і розробка рекомендацій з корегування схем КСП щодо якості та сейсмобезпеки вибуху.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Одним з основних факторів, які визначають ефективність КСП є інтервал часу сповільнення кожного свердловинного заряду відносно сусіднього і послідовності підривання їх у напрямку відбивки гірничої маси. В існуючих нормативних і літературних джерелах вибір оптимальних рішень проводиться тільки з урахуванням властивостей середовища і потрібних результатів вибуху [1–4].

При КСП з використанням СІН хвиля напружень від кожного наступного вибуху свердловинного заряду викликає в попередньо напруженому масиві більш інтенсивні руйнування за рахунок утворення вільних поверхонь оголення. Вибух наступного заряду повинен відбутися в момент максимальної величини напружень від попереднього вибуху з інтервалом сповільнення, який розраховується за формулою:

$$t = k \cdot w, \text{ мс}, \quad (1)$$

де t – інтервал часу сповільнення, мс; k – коефіцієнт, що враховує властивості порід і змінюється від 3 для міцних порід до 5 для м'яких, мс/м; w – лінія найменшого опору (ЛНО), м.

Слід відзначити, що збільшений ефект подрібнення при КСП пов'язаний з дією хвиль напружень поблизу вільної поверхні [4]. При цьому, від попереднього вибуху поперечна хвиля стиску, відбившись від поверхні оголення, стає хвилею розтягу і переміщується в масив, де знаходяться заряди другої черги. Вибух цих зарядів повинен здійснюватись в момент проходження через них відбитої хвилі напружень вибуху при КСП проходить у результаті різного роду взаємодії суміжних зарядів чи серій.

Велике число точок зору [1–5] про форми взаємодії зарядів можливо об'єднати в наступні групи, де стверджується, що поліпшення подрібнення середовища при КСП відбувається в результаті: співудару переміщених вибухом мас породи; залишкових напружень від попереднього вибуху; та утворення додаткових площин оголень, які дозволяють породі при наступному вибуху деформуватись і викликати багатократне відображення і інтерференцію хвиль напружень. Але найбільше визнання має твердження, яке пояснює ефективність дроблення при

КСП утворенням додаткових поверхонь оголень від вибуху наступного заряду.

Утворені поверхні оголення у вигляді тріщин різного ступеня розкриття відбивають повздовжню хвилю стиску від вибуху наступного заряду і перетворюють її в хвилю розтягу. Масив ослаблюється і полегшується його остаточне руйнування як хвилею напруження, так і тиском газів вибуху наступного заряду чи серії. В сторону оголених поверхонь проходить переміщення породи при її руйнуванні зі збільшенням початкового об'єму. За відсутності простору, який дозволяло переміститися зруйнованій породі, руйнування буде ускладнено. Частина масиву, яка не встигла здвинутися на достатню величину від вибуху зарядів першої черги, здійснить додатковий опір зарядам другої черги. Реалізація такого механізму в повному обсязі стала можливою при застосуванні неелектричних або електронних систем ініціювання.

На сьогодні в Україні на кар'єрах, зокрема підприємствами Міжвідомчої асоціації «Укрвибухпром», при монтажі схем КСП широко застосовують СІН «Імпульс» Шосткинського казенного заводу. Проведемо аналіз різних типів пристроїв змонтованих в цих схем КСП для визначення похибок, щодо часу їх ініціювання. (табл. 1).

Таблиця 1 – Граничні похибки спрацювання хвилеводів

Тип пристрою	Номинальний час сповільнення (а), мс	Середньо квадратичне відхилення від номінального значення (S), мс	Граничні значення уповільнення (b), мс	Похибка, %
УНС-ПА-0	0	–	0,1–3,0	–
УНС-ПА-15	15	2,0	11–19	±27
УНС-ПА-25	25	2,5	20–30	±20
УНС-ПА-40	40	3,5	33–47	±17,5
УНС-ПА-65	65	4,5	56–74	±14
УНС-ПА-105	105	5,0	95–115	±10
УНС-ПА-150	150	6,5	137–163	±9
УНС-ПА-200	200	8,0	184–216	±8

З аналізу даних табл. 1 видно що, хвилеводи мають широке застосування завдяки великій кількості інтервалів сповільнень від 0 до 200 мс, і дають можливість практично використовувати такі технологічні схеми комутації, які раніше із-за технічних причин не дозволяли реалізовувати режими, щодо сповільнення кожного свердловинного заряду. При цьому, для одержання якості подрібнення гірничої маси, змонтовані в схему КСП поверхневі сповільнювачі повинні забезпечити мінімальне відхилення інтервалів від оптимальних, визначених по формулі (1) або одержаних експериментально. Але на практиці кожний номінальний час сповільнення має своє квадратичне відхилення, що розраховується за формулою (2):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n - 1}} \quad (2)$$

При внесенні корективів в реальний час спрацювання хвилеводів, приведених в табл.1. необхідно, при роботі хвилеводів, враховувати граничні значення часу уповільнення;

$$b = a \pm 2 \cdot S, \quad (3)$$

де b – граничне значення часу уповільнення, мс; a – номінальний час спрацювання хвилеводів, мс; S – середньо квадратичне відхилення, мс.

Розглянемо вплив похибки сповільнювачів в поверхневих хвилеводах на якість вибуху при використанні СІНів на прикладі проведеного 2 листопада 2012 року, масового вибуху на Іванівському спецкар'єрі Вінницької області. Схема КСП, яка є характерною, приведена на рис. 1.

Характеристика вибуху: діаметр свердловин $d=250$ мм; кількість свердловин 28 штук, параметри сітки 4·4м.; середня маса ВР кожного свердловинного заряду становила 412 кг.

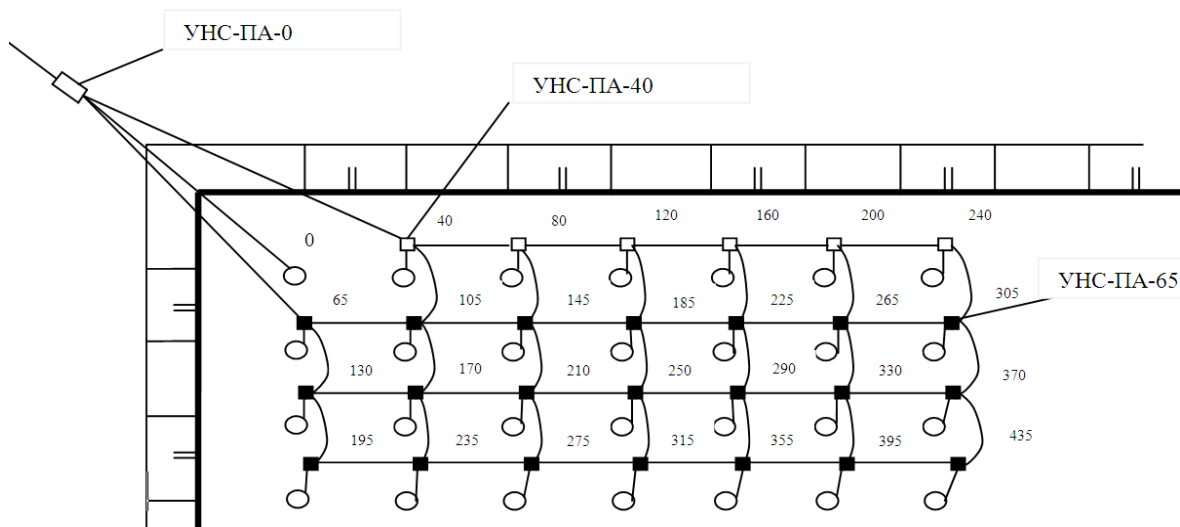


Рисунок 1 – Схема комутації КСП з застосуванням сповільнювачів типу УНС-ПА-40 та УНС-ПА-65 з інтервалом сповільнення кожної свердловини 40 мс та 65 мс

Спочатку проведемо розрахунки оптимальних інтервалів сповільнення з урахуванням режимів, в яких кожною свердловиною, яка підривається окремо будуть утворюватись найбільша кількість нових поверхонь оголення. При цьому режиму розвитку вибуху буде номінальний (похибка 0 %), і гістограма такого вибуху буде мати графік, який

приведений на рис. 2. Використовуючи дані табл. 1 щодо похибки спрацювання хвилеводів, які були застосовані при виконанні масового вибуху по схемі КСП, рис. 1, одержимо варіанти режимів розвитку вибуху при мінімальному (похибка $-17,5\%$ та -14%) часу спрацюванні хвилеводів і при максимальному (похибка $+17,5\%$ та $+14\%$), які приведений на рис. 2.

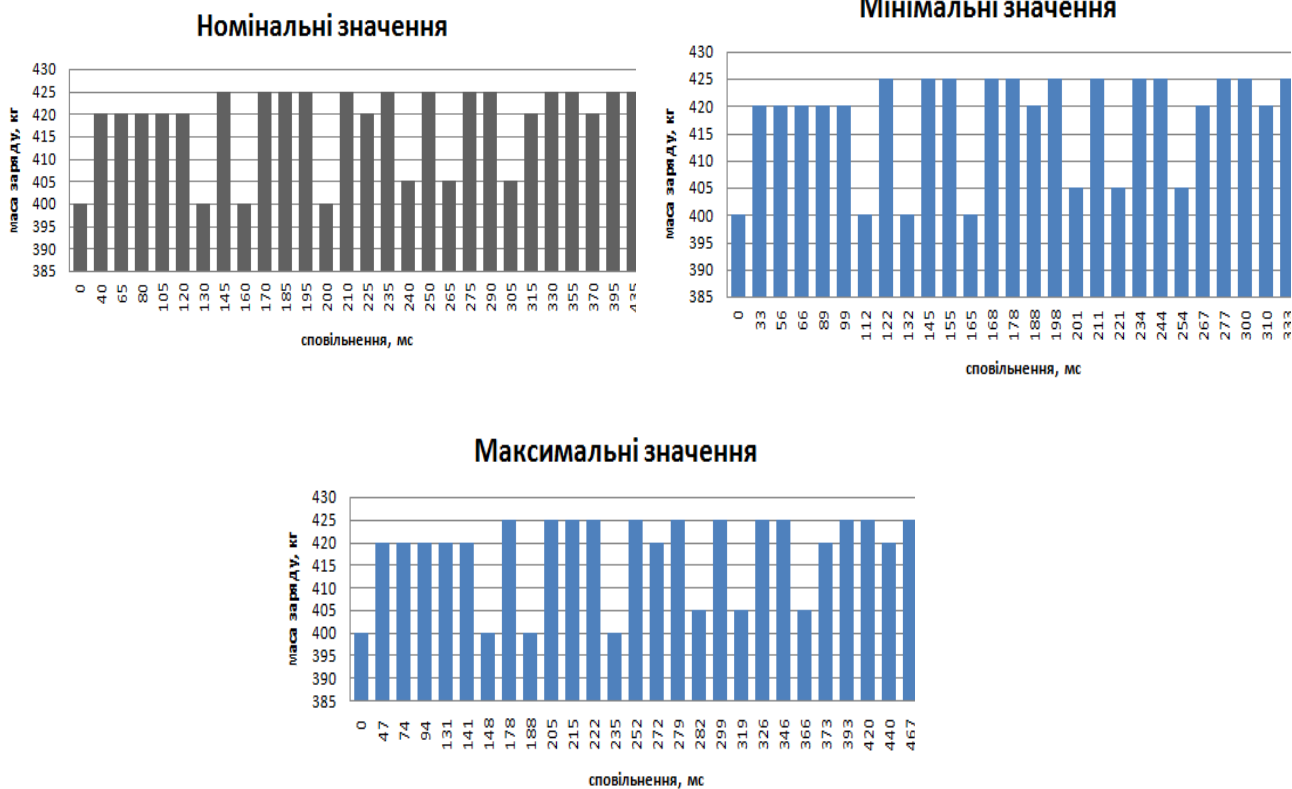


Рисунок 2 – Варіанти графіків режиму розвитку вибуху при номінальному, мінімальному та максимальному значеннях похибок, щодо часу сповільнення поверхневих хвилеводів

На рис. 3 приведена схема КСП, яка прорахована по найгіршому, з позицій утворення нових поверхонь оголення, варіанту з похибкою спрацювання хвилеводів +17,5 % та +14 % (вісім ступенів сповільнення) до 6^{ої} свердловини в 4^{ому} ряду – 467 мс та з похибкою спрацювання хвилеводів +17,5 % та -14 %

(дев'ять ступенів сповільнення) до 7^{ої} свердловини в 4^{ому} ряду – 436 мс. У випадку ініціювання свердловин по такій схемі можливо констатувати, що в третьому ряду (i+1) свердловина може спрацювати раніше і^{тої} на 13 мс (інтервалом до 13 мс), а в четвертому ряду – аж на 31 мс (інтервалом до 31 мс).

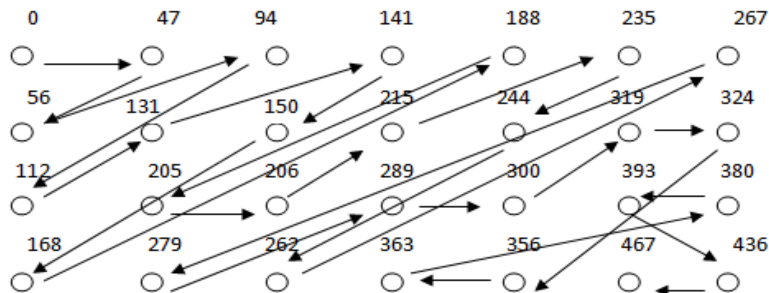


Рисунок 3 – Варіант схеми комутації КСП з застосуванням сповільнювачів типу УНС-ПА-40 та УНС-ПА-65 з похибкою спрацювання хвилеводів +17,5 % та ±14 %

Приведені вище прорахунки можливих варіантів режиму розвитку вибуху при номінальному, мінімальному та максимальному значеннях похибок щодо часу сповільнення поверхневих хвилеводів були перевірені на прикладі вивчення гранулометричного складу гірничої маси, одержаної від масового вибуху виконаного по схемі КСП (рис. 1).

На рис. 4 приведена фотографія розкиду гірничої маси після масового вибуху. Аналізуючи склад гірничої маси, по нанесеній сітці, методом фото планіметрії, визначався вихід негабариту по всій площі розкиду. Видно, що від вибуху свердловинних зарядів в районі третього ряду (квадратах (13–17;6–8); (21–26;7–9); (27–29;6–7) на рис. 4 відмічені хрестиками) вихід негабариту найбільший 36 %. Тому можемо вважати що, спрацювання хвилеводів

в цих свердловинах відбулось з найбільшими похибками. Таким чином, найбільший інтервал сповільнення був у пристрої, який спрацював з максимальною похибкою, у даному випадку свердловинний заряд який мав вісім ступенів сповільнення з часом спрацювання 467 мс. А це означає, що найбільші похибки були в хвилеводах, які ініціювали вибух в останніх свердловинних зарядах і які мали найбільший час сповільнення (356, 363, 380, 393, 436 і 467 мс). Також встановлений факт одночасного ініціювання свердловин, які знаходяться поруч у третьому ряду зі сповільненням 205 і 206 мс, що також призвело до збільшення виходу негабаритних фракцій за рахунок створення області з пониженими напруженнями розтягу.

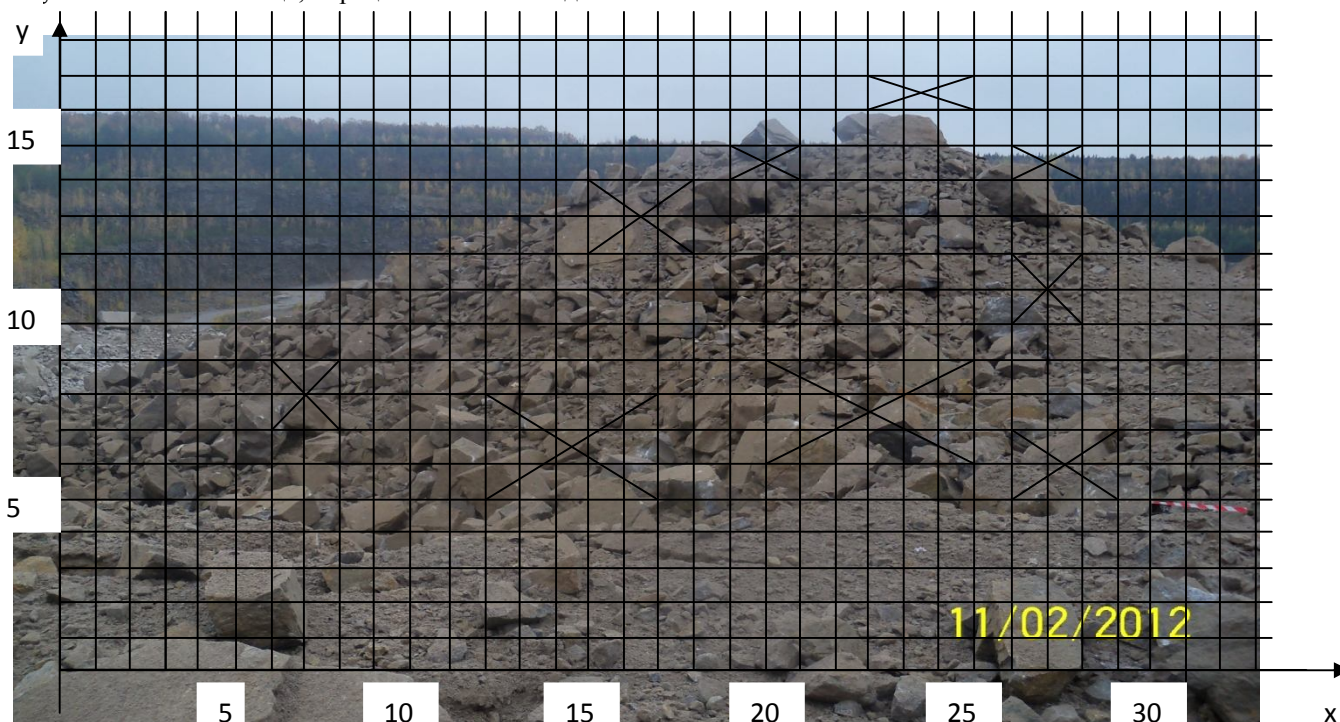


Рисунок 4 – Фото розкиду гірничої маси після масового вибуху по схемі КСП (рис. 1). Фотопланіметричний метод оцінки виходу негабаритних фракцій

Одержана залежність зміни середнього розміру куска від значення похибок хвилеводів, яка показує підвищену інтенсивність дроблення поблизу поверхні оголення внаслідок впливу відбитої хвилі напружень і приведена на рис. 5. Встановлено, що ступінь руйнування гірського середовища максимальний біля заряду. Зі збільшенням похибки інтервалів сповільнення величина середнього куска зростає за графічною залежністю, приведеною на рис. 5.

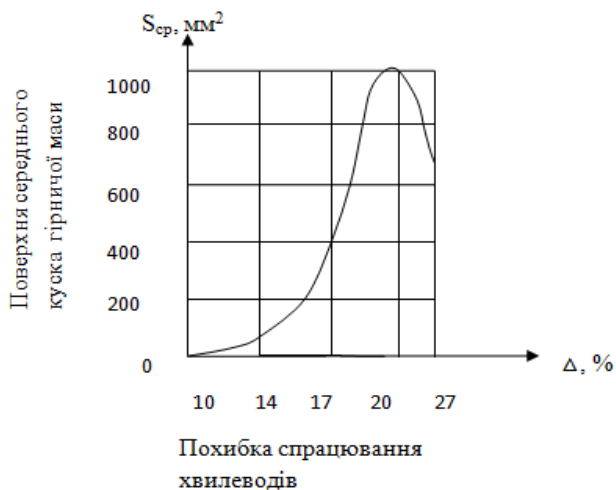


Рисунок 5 – Залежність зміни середнього розміру куска від значення похибок хвилеводів

Слід відзначити, що при проектуванні схем КСП необхідно вибирати інтервали сповільнення, які перебільшують час інтервалу сповільнення похибок свердловинних хвилеводів. Мінімальний сейсмічний ефект можливо досягти при мінімальному відхиленні інтервалів сповільнення хвилеводів від номінального.

З метою унеможливлення допущення розкиду похибок при проведенні масових вибухів для підприємства було рекомендовано проведення на стадії підготовки до вибуху робіт щодо підбору із кожної партії, сповільнювачів з однаковою похибкою спрацювання хвилеводів з наступним монтажем відсортованих пристроїв у схеми КСП.

ВИСНОВКИ. 1. На основі аналізу схем КСП при використанні СІН на прикладі проведеного масового вибуху на Іванівському спецкар'єрі Вінницької визначений вплив похибок сповільнювачів у поверхневих хвилеводах на якість вибуху.

2. Встановлені інтервали сповільнення з номінальними режимами, в результаті чого є можливим реалізувати механізм, за якого за рахунок підривання кожною свердловинного заряду, утворюється

найбільша кількість нових поверхонь оголення, але із-за похибок спрацювання хвилеводів такий механізм не реалізовується, що призводить до підвищення сейсмічного ефекту вибуху і виходу негабаритних фракцій.

3. Розроблені рекомендації щодо унеможливлення допущення розкиду похибок на стадії підготовки до масового вибуху, які полягають в сортуванні з кожної партії, сповільнювачів з однаковою похибкою спрацювання хвилеводів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кучерявый Ф.И., Кожушко Ю.М. Разрушение горных пород. – М.: Недра, 1972. – С. 130–139.
2. Кучерявый Ф.И., Олейников А.С., Волон А.Т. Многорядное короткозамедленное взрывание на карьерах строительных материалов. – К.: Издательство «Будівельник», 1975. – С. 5–6.
3. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. – М.: Недра, 1972. – 45 с.
4. Основы теории и методы взрывного дробления горных пород / Под ред. В.М. Комира. – К.: Наук. думка, 1979. – 224 с.
5. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – изд. 3-е, переработанное. – В 2 томах, том № 1. – М.: Физматлит, 2002. – 832 с.
6. Бойко В.В. Проблемы сейсмічної безпеки вибухової справи у кар'єрах України: монографія. – К.: ТОВ «Видавництво Сталь», 2012. – 184 с.
7. Динамическое поведение слоистой цилиндрической оболочки в грунтовом массиве при взрывном нагружении / В.В. Бойко, Н.С. Ремез, Т.В. Хлевнюк, Ю.В. Шевченко // Акустичний вісник. – 2003. – № 2. – С. 10–16.
8. Влияние схем многорядного короткозамедленного взрывания скважинных зарядов на сейсмический эффект взрыва / В.В. Бойко, Л.О. Мітюк // Вісник Національного технічного університету України НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2005. – № 3. – С. 21–26.
9. Управление амплитудно-частотным спектром короткозамедленного взрыва для снижения сейсмического эффекта / В.В. Бойко, Д.А. Ремез // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2011. – Вип. 20. – С. 76–82.
10. Управление спектром колебаний на основе математического моделирования короткозамедленных взрывов / В.В. Бойко, Д.А. Ремез // Вісник Національного технічного університету України НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2010. – № 19. – С. 28–34.

ANALYSIS OF MODERATORS' ERRORS INFLUENCE IN SURFACE WAVEGUIDES DURING THE NON-ELECTRIC INITIATION "IMPULSE" SYSTEM OPERATION ON EXPLOSION QUALITY

V. Boyko, S. Bogutskyi

Institute of Hydromechanics of NAS of Ukraine

vul. Zhelyabova, 8/4, Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: serg1989_07@mail.ru

V. Voznuk

Interagency Association «Ukrvybuhprom»

prosp. Nauky 10, Kyiv, 03039 Ukraine. E-mail: mefodich@ukr.net

The analysis of the short delay explosion schemes, based on non-electric initiation system and operational errors effect in surface waveguides on the explosion quality has been provided by the authors and the delay intervals of the nominal modes have been determined. In these modes every separately detonated well creates the largest number of the new surfaces, but because of operation error of the waveguides, such a mechanism can't be implemented into blasting, which leads to seismic effect increasing and oversized fractions exit. The experimental results the authors obtained at Ivanovskiy quarry in Vinnytsia region. The photoplanimetric method was used for estimation of the oversized grade yield. The authors have worked out recommendations on such errors prevention, thereby creating each charge's additional surfaces, which will provide the desired quality of a rock mass grinding with a simultaneous decrease of the seismic effect.

Key words: waveguide, seismic effect, exposure plane, fragmentation quality.

REFERENCES

1. Kucheravyi, F.I., Kozhushko, Y.M. (1972), *Razrushenie gornykh porod* [Destruction of rock], Nedra, Moscow, Russia.
2. Kucheravyi, F.I., Oleynicov, A.S., Volkov, A.T. (1975), *Mnogoriadnoe korotkozamedlennoe vzryvanie na kar'erakh stroitelnykh materialov* [Multiple short delay explosions on the quarries of building materials], Buduvelnik, Kyiv, Ukraine.
3. "Technical rules for daytime surface blasting" (1972), Nedra, Moscow, Russia.
4. *Osnovy teorii i metody vzryvnogo drobleniya gornykh porod* [Basic theory and methods of blasting rock crushing] (1979), ed. by V.M. Komir, Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine.
5. [Explosion physics] (2002), ed. by L.P. Orlenko, 3d edition, amended, in 2 vol., vol. 1, Fizmatlit, Moscow, Russia.
6. Boyko, V.V. (2012), [Problems of seismic explosive case in quarries Ukraine]: Monograph, LLC «Publishing Steel», Kyiv, Ukraine.
7. Boyko, V.V., Remez, N.S., Khlevniuk, T.V., Shevchenko, Y.V. (2003), "The dynamic behavior of a layered cylindrical shell in the soil mass under explosive loading", *Akustychnyi visnyk*, no.2. pp. 10–16, Kyiv, Ukraine.
8. Boyko, V.V., Mityk, L.O. (2005), "Effect of short delay circuits multi-row blasting hole charges on seismic effect of the explosion", *Bulletin of National Technical University of Ukraine «KPI». Series «Mining»*, no. 3, pp. 21–26, Kyiv, Ukraine.
9. Boyko, V.V., Remez, D.A. (2011), "Controlling the amplitude-frequency spectrum to lower short delay explosion seismic effect", *Bulletin of National Technical University of Ukraine «KPI». Series «Mining»*, no. 20, pp. 76–84, Kyiv, Ukraine.
10. Boyko, V.V., Remez, D.A. (2010) "Controlling the spectrum of fluctuations on the basis of mathematical modeling of short delay explosions", *Bulletin of National Technical University of Ukraine «KPI». Series «Mining»*, no. 19, pp. 28–34, Kyiv, Ukraine.

Стаття надійшла 25.02.2013.