

АНОТАЦІЯ

Шукюров Азер Меджид оглу. Удосконалення технологічних параметрів масового вибуху в умовах розробки родовищ на гірських схилах – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 – Гірництво. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, Київ, 2021.

В роботі в якості предмета досліджень обрано спеціальні умови розробки рудних родовищ на гірських схилах, що обмежують висоту уступів та відповідно довжину свердловинних зарядів. Особливу увагу приділено початковій стадії формування механічного ефекту вибуху в крайових ділянках подовженого заряду. В дисертації досліджується специфіка розробки нагірних родовищ через значний перепад висот в межах одного блоку, який диктує необхідність зниження висоти уступу до 3...6м та довжини заряду до 2-х...4-х метрів. Внаслідок скорочення довжини свердловинного заряду стає більш істотною участь його торцевих частин, де до 35...40% складають дисипативні втрати енергії через зміну симетрії силового поля.

В дослідженнях враховується відмінність завдань і особливості прояву та розвитку крайових ефектів в нижньому і верхньому торцях заряду. Нижня торцева частина заряду, яка відповідає за зону перебуру з метою запобігання порогів, перебуває в максимально затиснутих умовах, зустрічає найбільший опір скельного масиву руйнуванню і вимагає першочергової уваги в дослідженнях. Закономірності формування поля напружень з урахуванням крайових явищ вивчено шляхом аналітичних розрахунків, що оснований на заміні лінійного заряду системою зосереджених зарядів. На основі складеного алгоритму обчислено параметри силового поля для різних варіантів миттєвого та сповільненого вибуху системи зосереджених зарядів. Розрахунки крайових явищ при вибуху свердловинного заряду обмежених розмірів свідчать, що за умови миттєвого ініціювання заряду одночасно по обох торцях заряду

виродження осьової симетрії силового поля відбувається від торців заряду на глибину до 50 його радіусів, тобто в реальних умовах підривання коротких свердловинних зарядів їх механічний ефект в більшій мірі формується ослабленими кінцевими ділянками лінійного заряду.

Для компенсації енергетичних втрат на початковій стадії розвитку силового поля запобіжником виродження фронту хвилі напружень можливе збільшення торцевої частини свердловинного заряду в 1,5...1,7 рази. В якості раціонального способу керування енергетичним потоком в нижньому торці заряду запропоновано застосування проміжного ініціатора, розташованого в донній частині свердловини і здатного поряд із збудженням в заряді детонації створити умови для зародження і розвитку радіальної тріщини в площині підосви уступу з метою вирішення проблеми перебуру. Зокрема, запропоновано заміну циліндричної форми бойовика на конічну, розраховану на концентрацію енергетичного потоку по нормалі до похилої бічної поверхні конуса в кутову зону дна свердловини. Аналіз результатів комп'ютерного моделювання вибуху заряду в формі усіченого конуса показав, що вибух конічного бойовика генерує силове поле грушоподібної форми, здатне провокувати розвиток радіально-кільцевої відкольної тріщини на рівні підосви уступу, що дозволяє відмовитись від перебуру. Виконані в роботі модельні експерименти свідчать про можливість отримання зародку радіального деформаційного процесу вибухом донного бойовика, а інженерні розрахунки конфігурації зони руйнування від вибуху комбінованого заряду (конічний бойовик в свердловинному заряді ВР) на рівні нижнього торця свердловини свідчать про випереджуючу бічну дію вибуху в напрямку площини підосви уступу. При цьому раціональний кут нахилу бічної поверхні зворотного конічного заряду до його більшої основи складає $70^{\circ} \dots 80^{\circ}$. Оскільки на рівні верхнього торця свердловинного заряду його підсилення обмежене небезпекою посиленого розкидання в умовах схилових родовищ, способи керування крайовим ефектом на рівні набійки слід розглядати лише в аспекті групового підривання зарядів.

Аналізом літературних даних та власними інженерними розрахунками в межах популярних параметрів БВР встановлено, що деформація верхнього шару породи на рівні набійки відбувається послідовно протягом 4-х фаз: хвильової, камуфлетної, воронкоутворення та масових зміщень. Хвильова фаза практично охоплює весь обсяг верхнього породного шару, але через значні торцеві та дисипативні втрати енергії верхня половина цього шару піддається лише мікродеформаційним змінам, які створюють передруйнівний стан в породі. Камуфлетна фаза, що реалізується на контакті з торцем, позначена потужними пластичними руйнуваннями, але лише на контакті торця заряду з масивом породи. Фаза воронкоутворення охоплює частини масиву навколо набійки, але, згідно з розрахунками, окремі воронки спущення над суміжними торцями практично не перетинаються, залишаючи в проміжку між собою не зачеплену воронкоутворенням область. Аналіз розрахункових даних свідчить, що обсяг неруйнованої області масиву на рівні набійки між суміжними воронками спущення практично не залежить від висоти уступу, але максимально скорочується в абсолютному вимірі при зменшенні діаметра заряду до 105мм при мережі зарядів 3x3м та використанні промислової ВР типу ANFO. Ці параметри можна вважати найбільш раціональними для проектування вибухових мереж.

Завдяки нижньому ініціюванню в часі детонації заряду в масив випромінюється ударна хвиля, фронт якої орієнтується у бік поверхневих шарів на рівні набійки. Найбільшого ефекту від такої переорієнтації силового поля можна досягти одночасним нижнім ініціюванням суміжних свердловинних зарядів. Тоді фронти полів напружень мають зустрітись в міжзарядному просторі, а сумарний вектор силового поля спрямовується по нормалі до вільної поверхні блоку. Фактично в цьому випадку пропонується схема вертикального клинового врубу, орієнтованого замість вільної бічної поверхні в бік покрівлі уступу, яка через її значне простягання є одним з джерел негабариту.

Пропонується нова схема взаємодії груп зарядів, що суперечить традиційним прийомам конструювання вибухових мереж, тому в роботі випробувано компромісну схему комутації, яка полягає в одночасному паралельному вибуху трьох суміжних рядів свердловинних зарядів в якості однієї групи, з наступним короткоповільненим вибухом суміжної трирядної групи і далі. Реалізація такої схеми дозволяє використати її переваги завдяки поєднанню механізмів переміщення мас у вертикальному напрямку з традиційним зіткненням ділянок масиву в горизонтальному напрямку. Переваги застосування змішаної схеми комутації мережі доведені промисловими випробуваннями. Пропонована схема супроводжується вдосконаленою технікою контурного підривання.

Результатом впровадження рекомендованих в дисертаційній роботі удосконалених параметрів конструювання зарядів обмеженої довжини та їх схем масового підривання на золоторудному Човдарському родовищі є повна відмова від перебуру із зменшенням бурових робіт та ВР, витрат матеріалів і праці, а також скорочення на кар'єрі виходу негабаритної фракції вдвічі. Вказані два основні показники забезпечили разом економічний ефект понад 2,0млн. грн. в розрахунку на річний об'єм видобування золоторудної сировини в 650000м³ в розмірі.

За результатами досліджень опубліковано 11 наукових праць, у тому числі 6 статей у наукових фахових виданнях (з них 2 статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та/або Європейського Союзу, фахових виданнях України категорії «А», або закордонних виданнях, що входять до WoS або Scopus) 1 патент на корисну модель України, 4 тез доповідей в збірниках матеріалів конференцій.

Ключові слова: гірський схил, свердловинний заряд, крайовий ефект, силове поле, енергетичні втрати, радіально-кільцева тріщина, перебур, руйнування, конічний заряд, забивка, раціональні параметри, негабарит, вертикальний клиновий вруб, короткоповільнене підривання.

ABSTRACT

Shukurov A.V.o. «Improvement of technological parameters of mass explosion in the conditions of mining in mountain slopes». – Qualification scientific work as a manuscript.

Thesis for a Philosophy Doctor Degree in Technical Sciences, specialty 184 - Mining. National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» of the Ministry of education and science of Ukraine, Kyiv, 2021.

Work as a subject of study chosen by the special conditions of development of ore deposits on the mountain slopes, limiting the height of the ledges and respectively the length of the borehole charges. Special attention is paid to the initial stage of the formation of the mechanical effect of the explosion in the two ends of an elongated charge. The thesis investigates the specifics of the development of the upland fields, is a significant change in the height of the step within the same block. Reducing the height of the step up to 3...6m requires reduction of the length of charge up to 2...4 meters. The reduction in the length of the borehole charge becomes more significant impact to its extreme plots, in which 35...40% are dissipative energy losses through the change of symmetry of the force field.

The research considers the difference in tasks for the upper and lower ends of the borehole charge and the features of the development in them of boundary effects. The lower end part of the charge is amplified zone overdrilling to prevent thresholds, since it is maximally clamped conditions, meets the greatest resistance of rock massif destruction and therefore requires urgent attention in research. Regularities of formation of stress fields with a given boundary phenomena studied by means of analytical calculations based on replacement linear charge by system of concentrated charges. On the basis of the algorithm computed the parameters of the force fields for the various options of instant and delayed explosion system of concentrated charges. Calculations of the marginal effects by the explosion of a borehole charge with limited size suggests that assuming instantaneous initiation of the charge in both ends of the charge degeneracy of the axial symmetry of the force field occurs from the ends of the charge to a depth of 50 its radii, that is, in real terms short of

blasting borehole charges of their mechanical effect in a greater degree is formed by the weakened end sections of the linear charge.

To compensate for the energy losses at the initial stage of development of the force field fuse degeneration of the wave front strain it is possible to increase the end part of the borehole charge of 1.5...1.7 times. As a rational method of management of energy flow in the lower end of the charge the proposed application of the intermediate initiator, located at the bottom of the borehole and able, along with the initiation of detonation in the charge to create the conditions for the emergence and development of radial cracks in the plane of the soles of the ledge with the goal of addressing a problem overdrilling. In particular, the proposed replacement of the cylindrical shape of the action tapered, designed for the concentration of energy flow normal to the inclined lateral surface of a cone in the corner area of the bottom of the borehole. Analysis of the results of computer simulation of explosion of the charge in the form of a truncated cone showed that the conical explosion of action generates a force field, pear-shaped, capable to provoke the development of radial-circular cracks at the level of the soles of the ledge, which eliminates overdrill. Made in modelling experiments indicate the possibility of obtaining the embryo of a radial deformation process of the explosion of bottom of action, and engineering calculations the configuration of the zone of destruction from the explosion of the combined charge (conical initiator in charge of explosive) at the lower end of the borehole indicate a forward lateral effects of the explosion in the direction of the plane of the soles of the ledge. While the rational angle of the side surface of the inverse conical charge to its larger base is $70^{\circ} \dots 80^{\circ}$. Since the upper end of the borehole charge amplification is limited by the danger of enhanced scattering in terms of slope deposits, control methods of boundary effect on the level of the tamping should be considered only in the aspect of group blasting charges.

Analysis of literature data and engineering calculations within a popular drilling and blasting parameters is established that the deformation of the upper layer of rock at the level of the tamping occurs consistently throughout the 4 phases: of

the stress wave, kamulete, forming of crumbling craters and mass displacements. Wave phase covers almost the entire volume of the upper rock layer at the level tamping. However, after significant dissipative loss of energy due to the mechanical effect in the upper half of this layer occurs only mikrocracs changes that create the beforedevastating state. Camouflage phase, which is implemented only in contact with the upper and lower ends of the charge, is a powerful plastic deformation in the array of the rock massive. The phase of formation of the funnel covers a part of the array around tamping. According to the calculations, a separate funnel loosening over the adjacent ends of the charges practically do not overlap, in the interval between them is the area of the massif that are not affected by the process of the formation of craters. The analysis of calculation data shows that the volume pruinosa region-level array of tamping between adjacent craters does not practically depend on the height of the step. However, in absolute terms this volume decrease with decreasing of charge diameter up to 105 mm, network charges 3x3 m and with ussng of industrial explosives type ANFO. These parameters can be considered the most rational for the design of blasting networking in terms of quartzitic rocks developing on mountain slopes.

Due to the lower initiation during detonation of the charge in the array radiates the shock wave front in space between adjacent charges is oriented towards the surface layers at the level tamping. The greatest effect of such a reorientation of force fields can be achieved simultaneously by the lower initiation of adjacent borehole charges. Then the fronts of the stress field needs to meet in space between adjacent charges, and the total vector force field is directed normal to the upper free surface of the block. In fact, in this case, a scheme of the vertical V-cut, oriented instead of of the side surface to the side of the roof ledge, which through its significant stretch is one of the main sources of oversizes.

The paper proposes a fundamentally new scheme of interaction of groups of charges, which contradicts the traditional methods of designing explosive networks. A complex switching scheme is implemented, which is realised as follows. Three adjacent rows of downhole charges are combined into one joint group for

simultaneous parallel burst; the following groups of 3 adjacent rows each initiated with short delays. The implementation of such scheme allows to use the mechanism of movement of rock masses in the vertical direction with the traditional collision of areas of the array in the horizontal direction. The benefits of using a mixed network switching scheme have been proven by industrial testing. The proposed scheme is accompanied by the application of advanced contour blasting technique.

As a result of the introduction of advanced parameters of designing charges with limited length and the scheme of their massive blasting, the enterprise completely abandoned the overdrill at the gold-bearing Chovdar field recommended in the dissertation. This allowed for a 10% reduction in the amount of drilling work and the consumption of explosives, materials and labor, and also reduced the output of the oversized fraction by half (from 10 to 5%). These two key indicators have combined to produce an economic impact of over 2.0 million UAH based on an annual production of 650000m³ of ore row.

Keywords: mountain slope, borehole charge, boundary effect, force field, energy losses, radial-annular crack, breakthrough, destruction, conical charge, clogging, rational parameters, oversize, vertical wedge cut, short-term explosion.

List of applicant's publications:

1. Фізичні та технологічні чинники формування детонаційної здатності свердловинних зарядів емульсійних вибухових речовин / В.А. Поплавський, В.Г. Кравець, А.М. Шукюров, В.В. Павленко / Вісник ЖДТУ, 2017, №1(79). - С.197-202.

2. Крайові ефекти вибуху зарядів складної форми / Кравець В.Г., Шукюров А., Гонтарь П.В., Ган А.Л., Коробійчук В.В. / Вісник ЖДТУ, №2(82) - 2018. - С. 247-252.

3. Ган А.Л. Розробка ефективних параметрів системи свердловинних зарядів для руйнування гірського масиву на рівні набійки / А.Л. Ган, А.М. Шукюров, С.А. Турбінський / Вісник ЖДТУ, №1(83) - 2019. - С. 242-248.

4. Peculiarities of brittle and ductile materials Destruction and deformation during the explosion of industrial shaped charges / Yu. Voitenko, V. Kravets, A. Shukurov, O. Drachuk / Mining of Mineral Deposits, 2017. 11(2). - P. 12-20.

5. Technological applications of border effects by hole charges system explosion / Viktor Kravets, Azer Shukurov, Roman Zakusylo, Andriy Kovtun / Materialy Wysokoenergetyczne. 2019. - 11(2) - S.21-30. **(надруковано у виданнях держав, що входять до ОЕСР, Польща)**

6. Regularities of Energy Field Formation in the Explosion of a Conical Charge / Viktor Kravets, Roman Zakusylo, Yuri Sydorenko, Azer Shukurov, Tomasz Sałaciński, Daryna Zakusylo / Central European Journal of Energetic Materials / 2019,16, (4): P.533-546. (Польща) **(Scopus)**

7. Спосіб формування свердловинного заряду вибухової речовини при проведенні масових вибухів / В.В. Бойко, В.Г. Кравець, А.М. Шукюров, Т.В. Хлевнюк, А.Л. Ган / Декл. пат. № 135668 публ. 10.07.2019р. Бюл. №13,

8. Explosive wave propagation in the presence of antiseismic protective curtain / Viktor Kravets, Natalia Remez, Andrii Kovtun, Azer Shukiurov / Ukrainian School of Mining Engineering XII, 2018.

9. Edge effects of limited length downhole charge explosion / V. Kravets, R. Zakusylo, A. Shukurov, A. Han, S. Turbinski / Conference proceedings of 31 th International Conference BLASTING TECHNIQUES 2019, Slovak Society for Blasting and Drilling Works, Banská Bystrica Slovakia: 2019. - P. 207-216.

10. Управління механічним ефектом вибуху зарядів контактної дії / А.Л. Марчук, А.М. Шукюров, В.А. Поплавський / Перспективи розвитку будівельних технологій: тези доповідей 11-ї міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів (Дніпро, 26-27 квітня 2017 р.) / Національний гірничий університет – Д.:, 2017. – С. 39-42.

11. Шукюров А.М. Теоретичні дослідження силового поля при вибуху нециліндричних зарядів / А.М. Шукюров, В.Г. Кравець, Р.В. Закусило / Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво» Шосткинський інститут

Сумського Державного університету Шостка:14-16 листопада 2018 р. Шостка-
Суми: СДУ. 2018. - С. 14-16.