

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ ЗАЖАТОЙ СРЕДЫ ИЗ ВЗОРВАННОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

НОРОВ Ю. Д., УМАРОВ Ф. Я., УРИНОВ Ш. Р., МАХМУДОВ Д. Р., ЗАИРОВ Ш. Ш.

Для улучшения дробления горных пород в глубоких карьерах рекомендуется способ взрывания в зажатой среде, при котором благодаря наличию преград уменьшается боковое смещение взрываеваемого массива в период разрушения, что способствует увеличению продолжительности действия взрыва на массив. Целью проведенных исследований является повышение эффективности использования взрывных технологий, позволяющих обеспечить необходимое качество взорванной массы, возможность управления формой и параметрами развала пород, сохранение геологической структуры массива и сокращение подготовительно-восстановительных работ. В статье приведены аналитические исследования и разработаны схемы по определению рациональных параметров подпорной стенки при трапециевидной, треугольной и сегментной формах зажатой среды. Установлены фактическая линия наименьшего сопротивления (ЛНС) и объем развала горных пород при разных формах зажатой среды. Используются комплексные методы исследований, включающие теоретические обобщения и эксперименты в полигонных и промышленных условиях, методы математического программирования с использованием современной компьютерной техники с целью разработки программ расчета эффективных параметров зажатой среды на языке Borland Delphi 7.0, а также методов математической статистики и корреляционного анализа результатов исследований.

Ключевые слова: *буровзрывные работы; подпорная стенка; зажатая среда; трапециевидная, треугольная, сегментная формы; управление формированием развала; фактическая ЛНС; объем развала горных пород; рациональная высота подпорной стенки.*

Управление действием энергии взрыва при дроблении горных пород является важнейшим компонентом в технологии открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Эффективность использования взрывных технологий базируется на правильном понимании физического механизма воздействия взрыва на разрушаемый горный массив [1–5].

За последние 15–20 лет благодаря пристальному вниманию ученых, инженеров и практиков взрывного дела, к проблемам изучения физических основ дей-

Норов Юнус Джумаевич – доктор технических наук, профессор, начальник производственно-технического и инновационного отдела. 210100, Республика Узбекистан, г. Навои, ул. Навои, 27, Навоийский горно-металлургический комбинат. E-mail: yud.norov@ngmk.uz

Умаров Фарходбек Яркулович – доктор технических наук, профессор кафедры горного дела. 100125, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, 2, Ташкентский государственный технический университет. E-mail: farkhodbek.umarov@yandex.ru

Уринов Шерали Рауфович – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела по международным связям. 210100, Республика Узбекистан, г. Навои, ул. Южная, 27а, Навоийский государственный горный институт. E-mail: sh_urinov@mail.ru

Махмудов Дилмурод Рахматжонович – заведующий кафедрой геотехнологии угольных и пластовых месторождений. 100095, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, 2, Ташкентский государственный технический университет. E-mail: dmahmudov@yandex.ru

Заиров Шерзод Шарипович – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой добычи и переработки руд редких и радиоактивных металлов. 210100, Республика Узбекистан, г. Навои, ул. Южная, 27а, Навоийский государственный горный институт. E-mail: sher-z@mail.ru

ствия промышленных взрывов в горных породах, улучшения технологии и создания инженерных методов управления энергией взрыва успешно решены многие сложные вопросы. Однако, несмотря на значительные успехи в области теории и практики взрывной подготовки горной массы, удельный расход взрывчатых веществ (ВВ) как основной показатель эффективности взрывных работ непрерывно возрастает.

Среди разнообразных методов взрывания, с помощью которых современная технология взрывных работ управляет степенью дробления горных пород, можно выделить работы по взрыванию в зажатой среде.

Рассмотрим геометрические параметры трапециевидной формы зажатой среды (рис. 1).

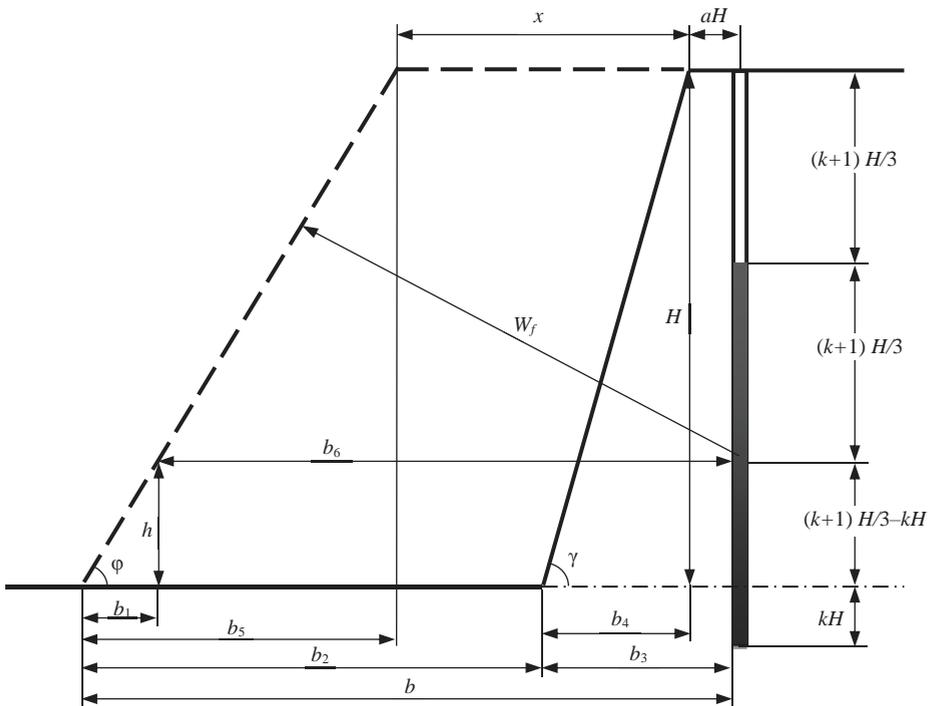


Рис. 1. Схема определения рациональных параметров подпорной стенки при трапециевидной форме зажатой среды

Для определения линии наименьшего сопротивления и единичного объема подпорной стенки трапециевидной формы вычислим расстояние от центра заряда ВВ до подошвы уступа:

$$h = \frac{2/3 H (k + 1)}{2} - kH = \left(\frac{1}{3} k + \frac{1}{3} - k \right) H = \frac{H}{3} (1 - 2k) = \frac{1 - 2k}{3} H \Rightarrow$$

$$h = \frac{1 - 2k}{3} H,$$

где H – высота уступа, м; k – коэффициент, учитывающий длину перебура в зависимости от высоты уступа; kH – длина перебура, м.

Рассмотрим положение увеличения и уменьшения ширины подпорной стенки.

С учетом угла откоса подпорной стенки трапециевидной формы φ определим расстояния b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 и b_6 по следующим формулам:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{h}{b_1} \Rightarrow b_1 = h \operatorname{ctg}\varphi \Rightarrow b_1 = \frac{1-2k}{3} H \operatorname{ctg}\varphi;$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{H}{b_4} \Rightarrow b_4 = H \operatorname{ctg}\varphi;$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{H}{b_5} \Rightarrow b_5 = H \operatorname{ctg}\varphi;$$

$$b = b_5 + x + aH = H(a + \operatorname{ctg}\varphi) + x; \quad (1)$$

$$b_6 = b - b_1 = H(a + \operatorname{ctg}\varphi) + x - \frac{1-2k}{3} H \operatorname{ctg}\varphi =$$

$$= x + \frac{H}{3}(3a + 3\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\varphi + 2k\operatorname{ctg}\varphi) \Rightarrow b_6 = x + \frac{3a + 2(k+1)\operatorname{ctg}\varphi}{3} H;$$

$$b_6 = x + \frac{3a + 2(k+1)\operatorname{ctg}\varphi}{3} H;$$

$$b_3 = b_4 + aH = H \operatorname{ctg}\gamma + aH = H(a + \operatorname{ctg}\varphi);$$

$$b_2 = b - b_3 = x + H(a + \operatorname{ctg}\varphi) - H(a + \operatorname{ctg}\varphi) = x + H(\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma), \quad (2)$$

где x – ширина подпорной стенки по верху, м; aH – безопасное расстояние от верхней бровки уступа до центра скважины, м; γ – угол откоса уступа, град.

По рис. 1 определим фактическую линию наименьшего сопротивления (ЛНС), м, по формуле:

$$W_f = b_6 \sin \varphi. \quad (3)$$

Подставив выражение (1) в формулу (3), получим формулу определения единичного объема подпорной стенки трапециевидной формы:

$$W_f = \left(x + \frac{3a + 2(k+1)\operatorname{ctg}\varphi}{3} H \right) \sin \varphi.$$

Согласно рис. 1 единичный объем подпорной стенки трапециевидной формы определяется по формуле:

$$V = \frac{b_2 + x}{2} H. \quad (4)$$

Подставив (2) в выражение (4), получим формулу определения единичного объема подпорной стенки трапециевидной формы:

$$V = \frac{2x + H(\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma)}{2} H.$$

Рассмотрим геометрические параметры треугольной формы зажатой среды (рис. 2).

Для определения линии наименьшего сопротивления и единичного объема подпорной стенки треугольной формы вычислим расстояние от центра заряда ВВ до подошвы уступа:

$$h = \frac{2/3H(k+1)}{2} - kH = \left(\frac{1}{3}k + \frac{1}{3} - k\right)H = \frac{H}{3}(1 - 2k) = \frac{1 - 2k}{3}H \Rightarrow$$

$$h = \frac{1 - 2k}{3}H,$$

где H – высота уступа, м; k – коэффициент, учитывающий длину перебура в зависимости от высоты уступа; kH – длина перебура, м.

Рассмотрим положение увеличения и уменьшения ширины подпорной стенки.

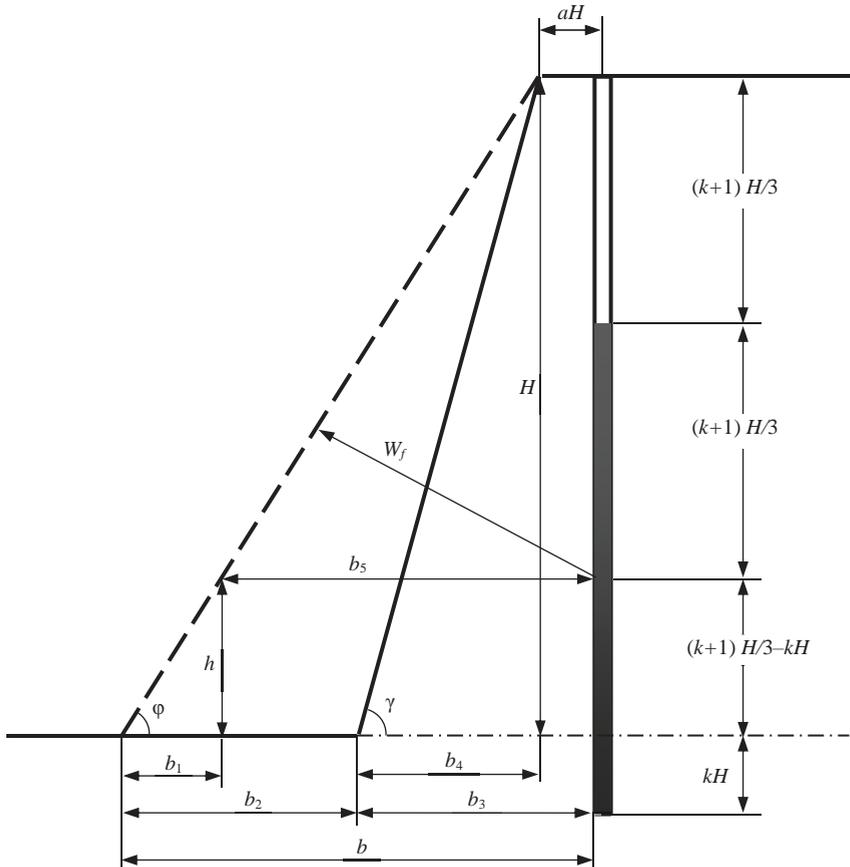


Рис. 2. Схема определения рациональных параметров подпорной стенки при треугольной форме зажатой среды

С учетом величины угла откоса подпорной стенки треугольной формы φ определим расстояния b_1, b_2, b_3, b_4 и b_5 по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{b_1} \Rightarrow b_1 = h \operatorname{ctg} \varphi \Rightarrow b_1 = \frac{1 - 2k}{3} H \operatorname{ctg} \varphi;$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{H}{b_4} \Rightarrow b_4 = H \operatorname{ctg} \varphi;$$

$$b = H(a + \operatorname{ctg}\varphi);$$

$$\begin{aligned} b_3 = b - b_1 &= H(a + \operatorname{ctg}\varphi) + \frac{1-2k}{3} H \operatorname{ctg}\varphi = \\ &= \frac{H}{3}(3a + 3\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\varphi + 2k\operatorname{ctg}\varphi) \Rightarrow b_3 = \frac{3a + 2(k+1)\operatorname{ctg}\varphi}{3} H; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} b_3 &= b_4 + aH = H \operatorname{ctg}\gamma + aH = H(a + \operatorname{ctg}\varphi); \\ b_2 = b - b_3 &= H(a + \operatorname{ctg}\varphi) - H(a + \operatorname{ctg}\varphi) = H(\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma), \end{aligned} \quad (6)$$

где aH – безопасное расстояние от верхней бровки уступа до центра скважины, м;
 γ – угол откоса уступа, град.

По рис. 1 определим фактическую линию наименьшего сопротивления (ЛНС) по формуле:

$$W_f = b_3 \sin \varphi. \quad (7)$$

Подставив выражение (5) в формулу (7), получим формулу определения единичного объема подпорной стенки треугольной формы:

$$W_f = \left(\frac{3a + 2(k+1)\operatorname{ctg}\varphi}{3} H \right) \sin \varphi.$$

Согласно рис. 1 единичный объем подпорной стенки треугольной формы определяется по формуле:

$$V = \frac{b_2}{2} H. \quad (8)$$

Поставив выражение (6) в формулу (8), получим формулу определения единичного объема подпорной стенки треугольной формы:

$$V = \frac{H^2 (\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma)}{2}.$$

Рассмотрим геометрические параметры сегментной формы зажатой среды (рис. 3).

Разделим зажатую среду сегментной формы на составляющие y_1 , y_2 и y_3 .
 Согласно рис. 3 расстояние

$$c_2 = H \operatorname{ctg}\gamma; \quad (9)$$

$$c_1 + c_2 = H \operatorname{ctg}\varphi. \quad (10)$$

Отсюда, подставив выражение (9) в (10), получим:

$$c_1 = H(\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma).$$

Также согласно рис. 3

$$y_3 = H / \sin\varphi;$$

$$y_1 = \sqrt{H^2 + (x + H \operatorname{ctg}\varphi)^2}.$$

Единица объема сегмента V определяется разностью сектора единицы объема V_s и единицы объема треугольника V_Δ . Единица объема треугольника определяется следующим образом:

$$V_\Delta = \frac{1}{2}(x + c_1)H = \frac{1}{2}(x + H(\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma))H.$$

Отсюда

$$y_1 = 2R^2 - 2R^2 \cos\alpha. \quad (11)$$

Подставив (9) в выражение (11), получим:

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{H^2 + (x + H \operatorname{ctg}\varphi)^2}{2R^2}\right).$$

Единичный объем сегментообразной части подпорной стенки определим по формуле:

$$V_s = \frac{1}{2}R^2(\alpha - \sin\alpha).$$

Тогда единичный объем подпорной стенки

$$V = V_s + V_\Delta = \frac{1}{2}(x + H(\operatorname{ctg}\varphi - \operatorname{ctg}\gamma))H + \frac{1}{2}R^2(\alpha - \sin\alpha).$$

Согласно рис. 3

$$c_3 = R \sin\varphi - x - c_1 - c_2 - aH = R \sin\varphi - x - H \operatorname{ctg}\varphi - aH; \quad (12)$$

$$c_4 = R \cos\varphi; \quad (13)$$

$$R - W_f = \sqrt{c_3^2 + \left(c_4 + \frac{1-2k}{3}H\right)^2}.$$

С учетом формул (12)–(13) определим фактическую линию наименьшего сопротивления по формуле:

$$W_f = \frac{2}{3}(k+1)H.$$

Таким образом, установлены фактическая ЛНС и объем развала горных пород при трапециевидной, треугольной и сегментной формах зажатой среды. На основе

проведенных исследований разработана компьютерная программа на языке Borland Delphi 7.0, новизна которой защищена свидетельством об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан (Норов Ю. Д., Умаров Ф. Я., Махмудов Д. Р., Уринов Ш. Р., Заиров Ш. Ш., Очилов Ш. А. Расчет параметров

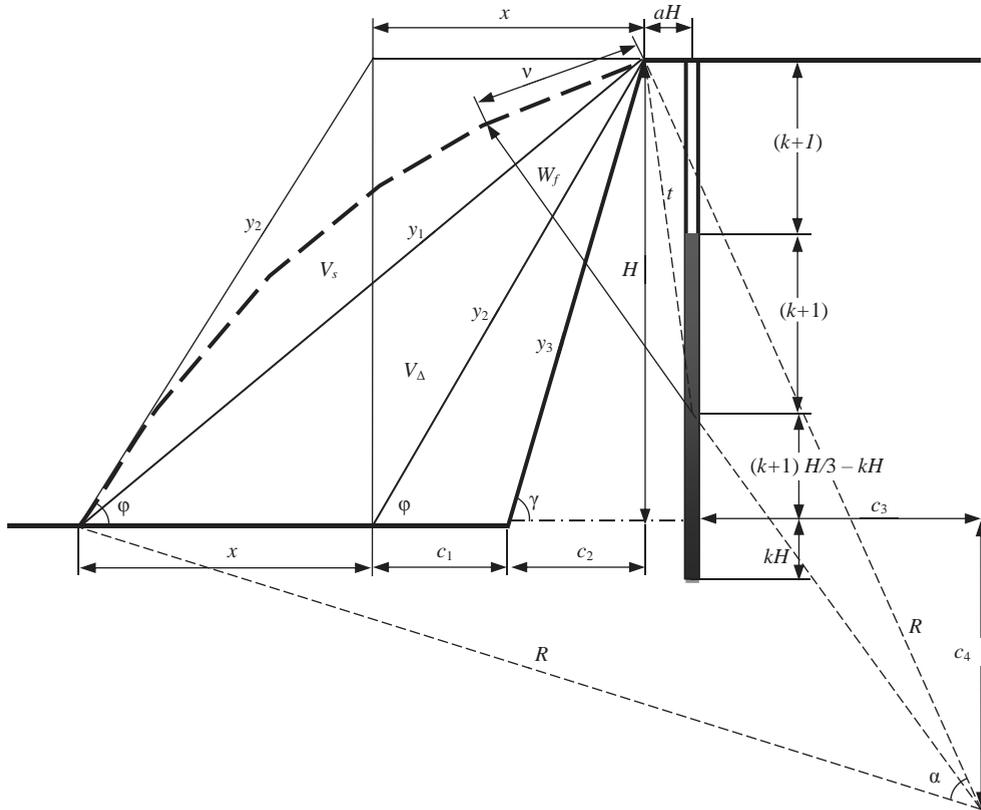


Рис. 3. Схема определения рациональных параметров подпорной стенки при сегментной форме зажатой среды

единичного объема подпорной стенки и линии наименьшего сопротивления при взрывании скважинного заряда. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № DGU 05179 по заявке № DGU 2018 0140 от 26.02.2018 г. Зарегистрирована в государственном реестре программ для ЭВМ Республики Узбекистан 03.04.2018 г.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Норов Ю. Д., Бибик И. П., Заиров Ш. Ш. Управление эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества взорванной горной массы // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 1. С. 34–39.
2. Снитка Н. П., Насиров У. Ф., Умаров Ф. Я., Заиров Ш. Ш. Управление параметрами буровзрывных работ и устойчивостью бортов на карьерах: монография. Ташкент: Фан, 2017. 288 с.
3. Норов Ю. Д., Шеметов П. А., Заиров Ш. Ш., Тухташев А. Б. Совершенствование методов управления дроблением горных пород взрывом: монография. Бухара: Бухоро, 2011. 200 с.
4. Норов Ю. Д., Заиров Ш. Ш., Ивановский Д. С. Теоретические исследования закономерностей действия цилиндрического заряда в разнопрочных горных породах на пластовых месторождениях // ГИАБ. 2010. № 4. С. 140–142.
5. Норов Ю. Д., Бибик И. П., Заиров Ш. Ш. Управление эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества взорванной горной массы // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 1. С. 34–39.

THEORETICAL STUDY OF RELIEVING WALL PARAMETERS UNDER VARIOUS FORMS OF NIPPED ENVIRONMENT FROM BLASTED ROCK MASS

Norov Iu. D. – Navoiy Mining and Metallurgical Combinat, Navoiy, Uzbekistan. E-mail: yud.norov@ngmk.uz

Umarov F. Ia. – Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: info@gubkin.uz

Urinov Sh. R. – Navoiy State Mining Institute, Navoiy, Uzbekistan. E-mail: shurinov@mail.ru

Makhmudov D. R. – Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: dmahmudov@yandex.ru

Zairov Sh. Sh. – Navoiy State Mining Institute, Navoiy, Uzbekistan. E-mail: sher-z@mail.ru

In order to improve rock mass drilling in deep open pits it is recommended to use the method of blasting in nipped environment, at which, due to the presence of obstacles, in the period of destruction, lateral shift of blasted rock mass reduces, which contributes to the increased duration of blast effect on the massif. The aim of the investigations fulfilled is the increase of blasting technologies application efficiency, which makes it possible to provide required quality of blasted mass, maintenance of geological structure of a massif and shorten development-reclamation work. The article introduces analytical investigations and works out the schemes on the determination of rational parameters of relieving wall under trapezoid, triangle, and segmental forms of nipped environment. True line of least resistance (LLR) and rock mass disintegration range under various forms of nipped environment are stated. Integrated methods of investigations are used, which include theoretical generalizations and experiments in polygon and industrial conditions, methods of mathematical programming with the use of modern hardware to develop the programs aimed to calculate efficient parameters of nipped environment using the Borland Delphi 7.0 language, and also the methods of mathematical statistics and correlation analysis of investigation results.

Key words: drilling and blasting operations; relieving wall; nipped environment; trapezoid, triangle, and segmental forms; disintegration generation control; true LLR; rock mass disintegration range; rational height of relieving wall.

REFERENCES

1. Norov Iu. D., Bibik I. P., Zairov Sh. Sh. [Efficient parameters control for drilling and blasting operations by the criterion of exploded rock mass quality]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no.1, pp. 34–39. (In Russ.)
2. Snitka N. P., Nasirov U. F., Umarov F. Ia., Zairov Sh. Sh. *Upravlenie parametrami burovzryvnykh работ i ustoichivost'iu bortov na kar'erakh: monografiia* [Monograph “Control over the parameters of drilling and blasting operations and pit edges sustainability”]. Tashkent, Fan Publ., 2017. 288 p.
3. Norov Iu. D., Shemetov P. A., Zairov Sh. Sh., Tukhtashev A. B. *Sovershenstvovanie metodov upravleniia drobleniem gornykh porod vzryvom: monografiia* [Monograph “Developing the methods of controlling rock drilling with a blast”]. Bukhara, Bukhoro Publ., 2011. 200 p.
4. Norov Iu. D., Zairov Sh. Sh., Ivanovskii D. S. [Theoretical study of action regularities of cylindrical charge in rock of various strength at stratified deposits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tehnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2010, no. 4, pp. 140–142. (In Russ.)
5. Norov Iu. D., Bibik I. P., Zairov Sh. Sh. [The control of efficient parameters of drilling and blasting operations by the criterion of exploded mass quality]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2016, no. 1, pp. 34–39. (In Russ.)