

Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10>



ЛОГИНОВ Е.В.

Канд. техн. наук,
старший преподаватель
Санкт-Петербургского
горного университета,
199106, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru



ТЮЛЕНЕВА Т.А.

Канд. экон. наук, доцент
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: krukta@mail.ru

В статье описана методика управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши при применении гидравлических экскаваторов типа обратная лопата, основанная на использовании элементов математического моделирования усреднения его значения, что обеспечивает высокую точность результатов и исключает влияние человеческого фактора при их расчете. Экономический эффект от разработки месторождения полезных ископаемых открытым способом во многом зависит от степени рациональности выбора режима ведения горных работ и решения проблемы усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши, различающегося по периодам его эксплуатации. При этом в специальной литературе не всегда можно найти практические рекомендации по расчету усредненных величин эксплуатационных коэффициентов вскрыши и применению выбранного режима открытых горных работ, что зачастую вызвано необходимостью оценки изменения размеров рабочей зоны в течение срока эксплуатации карьера.

Ключевые слова: коэффициент вскрыши, гидравлический экскаватор типа обратная лопата, угол откоса, моделирование параметров, открытые горные работы.

Для цитирования: Логинов Е.В., Тюленева Т.А. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Уголь. 2021. № 12. С. 6-10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом развивается в направлении использования более совершенного оборудования значительных габаритов, что в свою очередь приводит к увеличению количественных характеристик и объемов системы разработки [1, 2]. В случае открытых горных работ объемы вынимаемых из карьера вышележащих и вмещающих пород практически всегда в несколько раз преобладают над объемами добычи собственно полезного ископаемого. Ввиду того, что вмещающие породы сходны с добываемым полезным ископаемым по физическим, механическим показателям и затратам труда на добычу, а также по их стоимостным измерителям, производственная себестоимость полезного ископаемого складывается главным образом из стоимости вскрышных работ. В связи с этим определение производительности карьера по вскрышным породам является достаточно актуальным направлением исследования с точки зрения повышения эффективности, а вопросы управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши представляют собой одно из направлений эффективной эксплуатации современного карьера.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время изучение горно-геометрических характеристик поля карьера относится к главным методам календарного планирования и оценки целесообразности режима ведения горных работ. Вместе с тем его недостатками можно назвать повышенную трудоемкость, необходимость максимальной точности исходных данных, неопределенность начального положения горных работ, необходимость определения новой зависимости $V = f(P)$ при изменении параметров j_{\max} и $B = B_{\min}$ в зависимости от направления выемки; кроме того, близкое расположение относительно друг друга кривых для

$\varphi = \max$ и $\varphi = 0^\circ$ обуславливает неопределенность получаемых итогов оценки. Несмотря на распространенность данного метода на практике, применение его осложняется существованием вышеописанных недостатков, которые возможно устранить при разработке математической модели на его основе [3].

Для расчета усредненных величин эксплуатационного коэффициента вскрыши выполняют исследования динамических значений угла наклона рабочего борта карьера при соответствующих им колебаниях размеров рабочей зоны. Однако для описанных методов отсутствуют практические рекомендации по выполнению планировочных открытых горных работ, а именно: оценка параметров изменения размеров рабочей зоны (*WVA*) с течением срока эксплуатации карьера. Для реализации этих методов существует потребность в изучении системы разработки, способа вскрытия месторождения и направления углубления в пространстве карьера, а также наличия погоризонтных планов горных работ в его пределах [3, 4].

Одним из условий эффективности эксплуатации современного карьера является поддержание достаточного размера рабочей зоны в любой момент. Значения их плановых показателей рассчитываются на базе средних значений протяженности фронта работ в зависимости от скорости сдвига рабочих уступов и колебаний объемов полезного ископаемого, подготовленного к выемке. В практическом использовании размеры рабочих зон по длине фронта открытых горных работ отклоняются с соблюдением предельных значений колебаний из-за прерывности технологических процессов.

Размеры рабочей зоны имеют два крайних значения: минимальное используется как критерий ограничения сокращения рабочей зоны и устанавливается проектом индивидуально исходя из требований нормативных документов, а максимальное оценивается размерами карьерного поля в плане горных работ, при нем разработка месторождения осуществляется практически послойно. Осуществление горных работ в системах глубокой разработки с максимальными размерами рабочих зон практически невозможно, в этих условиях также возникает проблема подготовки нижележащих горизонтов для разработки.

Исследование применяемых для определения размеров рабочей зоны методов показало, что наиболее распространенными из них являются: расчет по горным породам с использованием буровзрывных работ при подготовке массива к выемке на основе планирования ширины обрушения уступа по итогам выполненных взрывных работ, расчет для категории рыхлых, мягких пород, извлеченных без предшествующего взрывания, базирующихся на величине ширины заходки. Они, в свою очередь, делятся на подвиды: это геометрический метод на основе значений угла наклона рабочей стороны карьера φ , расчет по параметрам выемочно-погрузочного оборудования на базе количественных характеристик одноковшового экскаватора, расчет по параметрам транспортировки (основными показателями являются характеристики транспортных средств) [3, 4].

Рассмотрены различные типы ковшей, используемых на гидравлических экскаваторах с обратной лопатой [3, 4, 5]. Так как увеличение размеров горного оборудования приводит к увеличению вероятности несчастных случаев на производстве, для сокращения числа данных инцидентов необходимо выполнение работ соответственно проекту добычи полезного ископаемого. Минимальный размер рабочей зоны характеризуется параметрами размещения выемочно-погрузочного оборудования и схемы маневрирования погрузочных транспортных средств и должен устанавливаться таким образом, чтобы обеспечить производительную работу выемочных машин и транспорта [6]. Для каждой производственной ситуации разрабатывается свой комплекс показателей размеров рабочей зоны эксплуатируемого карьера в зависимости от характеристик технологического комплекса «экскаватор – самосвал» и возможностей использования гидравлических экскаваторов с обратной лопатой.

Накопленный практический опыт эксплуатации горнодобывающих предприятий и деятельности проектных организаций подтвердил, что при запланированной производительности карьера изменение эксплуатационного коэффициента вскрыши становится основным средством управления режимом открытых горных работ. В большинстве случаев изменение режима вскрышных работ описывается полилинией, которая в условиях разработки крутопадающих или наклонных пластов в начале горных работ имеет восходящий вид, затем в максимальной точке появляется перегиб, а в конце график принимает нисходящее направление.

При проведении открытых горных работ часто не представляется возможным одновременно обеспечить рост производительности добычи полезных ископаемых и уменьшение объема вскрышных пород; так, увеличение добычи вызывает рост объема вскрыши, и наоборот, уменьшение коэффициента может создать предпосылку для спада производительности добычи полезного ископаемого, которое во многих случаях оценивается средней величиной. Данное обстоятельство делает актуальными исследования по стабилизации режима горных работ, базирующиеся на эксплуатационном коэффициенте вскрыши.

К наиболее эффективным способам управления режимом горных работ относится варьирование угла наклона рабочего борта карьера за счет изменения размера рабочей зоны, и это создает предпосылки к применению методов управления эксплуатационным коэффициентом вскрыши. Корректировка угла наклона рабочего борта карьера φ представляется возможной при заданных двух пороговых значениях φ_{\max} и $\varphi \rightarrow 0$ (рис. 1) для наклонных и крутопадающих пластов.

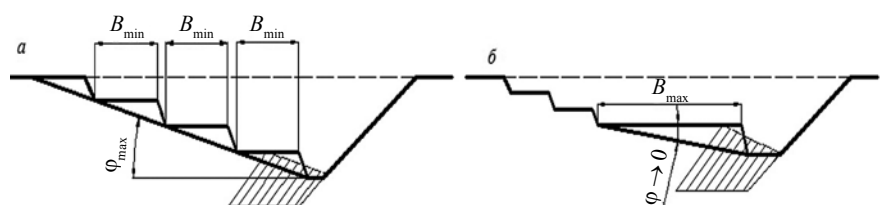


Рис. 1. Крайние возможные случаи разработки карьера [7]

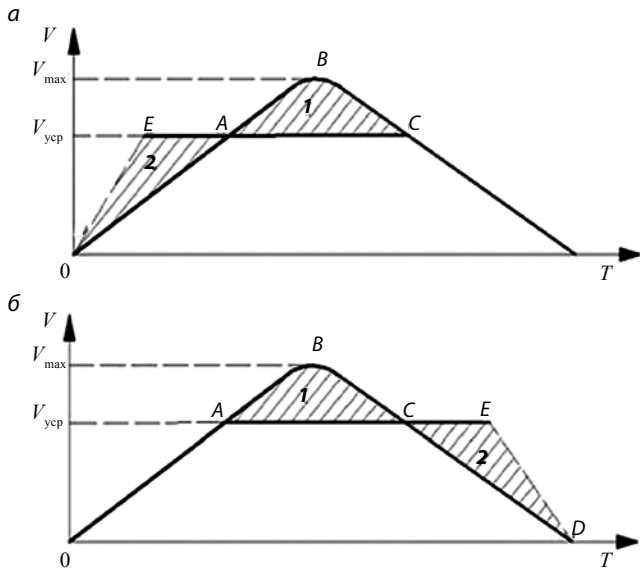


Рис. 2. Перенос пиковых объемов вскрышных работ: а – вариант с переносом на более ранний временной интервал, б – вариант с переносом на более поздний срок разработки месторождения [7]

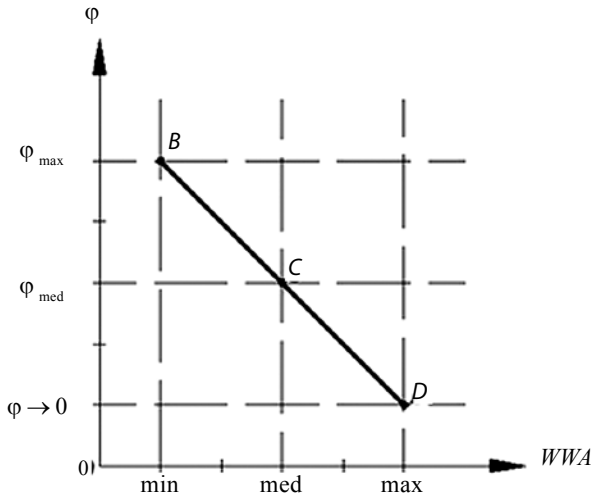


Рис. 3. Взаимосвязь угла наклона рабочего уступа карьера и протяженности его рабочей зоны [7]

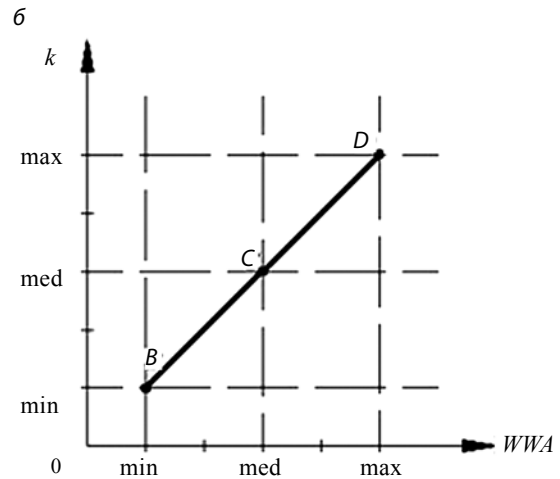
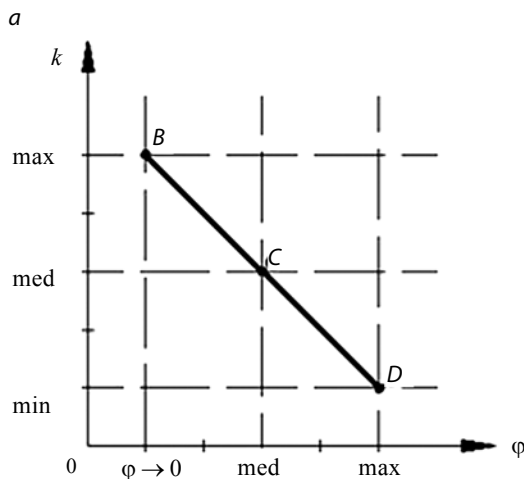


Рис. 4. Взаимосвязь эксплуатационного коэффициента вскрыши и показателей: а – угла наклона рабочей зоны карьера $k = f(\varphi)$; б – протяженности рабочей зоны $k = f(WWA)$ [6, 7]

Для достижения равномерного режима добычи с заданной производительностью основным методом усреднения значений объемов вскрышных работ является перенос их пиковых значений во времени на более ранний (рис. 2, а) и отдаленный периоды эксплуатации карьера (см. рис. 2, б).

Взаимосвязь угла наклона рабочей стороны карьера и размера рабочей зоны может быть представлена функцией $\varphi = f(WWA)$ при опорных значениях (рис. 3).

На рис. 3 показан отрезок BD , характеризующий связь угла наклона рабочей стороны карьера с размером рабочей зоны при нормальных условиях, характеризующихся эксплуатацией карьера между двумя крайними значениями размера рабочей зоны. В точке B определяется предельное значение минимального размера рабочей зоны с максимальным углом наклона, в точке C – их средняя величина, а в точке D – предельное значение максимального размера рабочей зоны с минимальным углом наклона.

Основываясь на итогах изучения взаимосвязи угла наклона рабочего уступа карьера и протяженности его рабочей зоны, целесообразно проанализировать связь первого из перечисленных показателей с эксплуатационным коэффициентом вскрыши (рис. 4, а) и протяженностью рабочей зоны (см. рис. 4, б), описываемых зависимостями $k = f(\varphi)$ и $k = f(WWA)$ соответственно.

На отрезке BD данная зависимость представлена для нормальных условий, в точке B – минимальное значение угла наклона или максимальный размер рабочей зоны, в точке C – их средняя величина, а в точке D – предельное значение максимального угла с минимальным размером рабочей зоны. Таким образом, эксплуатационный коэффициент вскрыши представляется основной технологической характеристикой при оценке режима открытых горных работ, грамотное управление которым обеспечит получение большего экономического эффекта.

Описанный способ определения коэффициента вскрыши при эксплуатации карьера реализуется в следующем порядке. На основе погоризонтных планов и направления развития горных работ формируются графики зависимости объемов вскрыши от объемов добычи полезного ископаемого с углами наклона рабочей стороны карьера в пределах от минимальных до максимальных (рис. 5).

Уравнения, описывающие угол наклона рабочей стороны карьера для различных значений [8]

Показатели	Тип уравнения	Уравнение	Коэффициент детерминации
Угол наклона рабочей стороны карьера $j = 5^\circ$	Квадратичное	$y = -0,0684603x^2 + 6,60752x - 1,68954$	0,99
Угол наклона рабочей стороны карьера $j = 10^\circ$	Квадратичное	$y = -0,0624659x^2 + 4,54482x - 1,12557$	0,99
Угол наклона рабочей стороны карьера $j = 15^\circ$	Квадратичное	$y = -0,183276x^2 + 2,50397x + 0,214529$	0,99
Угол наклона рабочей стороны карьера $j = 20^\circ$	Квадратичное	$y = 0,281534x^2 + 0,738268x + 1,85262$	0,99
Уравнение прямой линии (усредняющая линия)	Линейное	$y = 4,40146x$	0,99

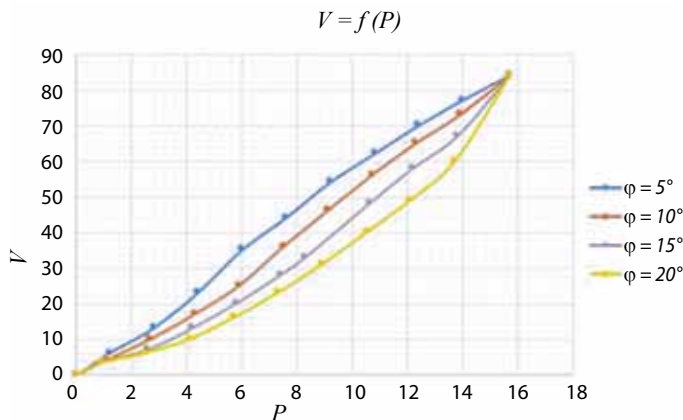


Рис. 5. Кумулятивный график $V = f(P)$ зависимости объемов вскрышных пород (V , млн m^3) от роста объемов добываемого полезного ископаемого (P , млн m^3), по заданным углам наклона рабочей стороны карьера: $\varphi = 5^\circ$, $\varphi = 10^\circ$, $\varphi = 15^\circ$, $\varphi = 20^\circ$ [8]

Для разработки зависимости использовалась модель «условный карьер» со следующими характеристиками: глубина – 100 м, система разработки – десятиметровыми уступами с углом откоса 70° каждый, константная производительность карьера по добыче – 1,57 млн куб. м. Угол наклона рабочей зоны φ задан диапазоном 5° – 20° с шагом 5° . Возможные варианты эксплуатации карьера с постоянным эксплуатационным коэффициентом вскрыши заданы в пределах φ_{\min} и φ_{\max} . Для каждого угла наклона рабочего борта, а также объемов добычи и вскрыши (см. таблицу) выведены уравнения, описывающие каждый угол наклона [8].

В представленной таблице угол наклона рабочего борта карьера описан квадратичным уравнением с различными переменными X . Удобство данного метода заключается в возможности получения на его основе различных типов уравнений в зависимости от степени сложности решаемой задачи [8, 9, 10].

Прямая линия, пересекающая кривые угла наклона рабочего борта карьера, должна располагаться в пределах минимального и максимального значений, исходит из начала координат (для ситуации, когда не учитывается начальный объем горных работ) и стремится к кривой с максимальным значением угла наклона рабочего борта карьера в конечном положении, когда обеспечивается стабильная эксплуатация карьера по вскрыше и добыче с наименьшим значением коэффициента [11, 12, 13]. В точке B определяется конечный показатель усредняющей линии AB , и при достижении максимального угла наклона рабочего борта нет необходимости в усреднении эксплуатационного коэффи-

ента вскрыши, последующая разработка карьера будет осуществляться в направлении движения в точку C при значении C при $j = j_{\max}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным технологическим показателем для анализа режима горных работ является эксплуатационный коэффициент вскрыши, грамотное управление которым обеспечит получение большего экономического эффекта. Рациональная схема разработки месторождения открытым способом будет соответствовать усредненным значениям эксплуатационного коэффициента вскрыши. В ходе исследования были описаны уравнения для каждого угла наклона рабочего борта карьера. По критерию точности, в качестве которого использовался коэффициент детерминации, были получены уравнения для каждого угла. Это позволит моделировать параметры открытых горных работ в зависимости от заданного угла наклона и коэффициента вскрыши. Высокие значения коэффициента детерминации подтверждают, что описанная математическая модель усреднения эксплуатационного коэффициента вскрыши исключает субъективное мнение при подсчете результатов.

Список литературы

1. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-июнь 2021 года // Уголь. 2021. № 9. С. 25-36. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-25-36.
2. Tyuleneva T., Moldazhanov M. The Use of Environmental Taxation Instruments in Order to Ensure Sustainable Development of Mining Region // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 174. Article 04061.
3. Loginov E.V., Tyukov P.O. Substantiation of development system parameters taking into account the main dimensions of working equipment used in the development of mineral deposits by open-pit method // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 266. Article 04014.
4. Арсентьев А.И. Определение производительности и границ карьеров. М.: Недра, 1970. 320 с.
5. Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. Проектирование карьеров. М.: НПК «Гемос Лимитед», 2002. 176 с.
6. Билин А.Л. Классификация коэффициентов вскрыши // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 12. С. 52-63.
7. Loginov E.V., Ligotsky D.N., Argimbaev K.R. Averaging the operating stripping ratio for sinking mining systems based on mathematical simulation // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1614. P. 1-6.
8. Investigations of the Material Composition of Iron-containing Tails of the Enrichment of the Mining and Processing

Combines of the Kursk Magnetic Anomaly of Russia International / E.V. Loginov, K.R. Argimbaev, D.N. Ligotsky et al. // Journal of Engineering Transactions A (Basics). 2020. Vol. 33. P. 184-194.

9. Development of innovative architecture of the organizational and economic mechanism for the nature protection management / V.G. Mikhailov, V.A. Karasev, G.S. Mikhailov et al. / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: All-Russian Research-to-Practice Conference "Ecology and Safety in the Technosphere", Yurga, 6–7 march 2017. Yurga: Institute of Physics Publishing, 2017. Article 012008.

10. Tyuleneva T.A. Problems and Prospects of Regional Mining Industry Digitalization / E3S Web of Conferences: 5, Kemerovo, 19–21 october 2020. Kemerovo, 2020. Article 04019.

11. Kolesnikov V.F., Janočko J. On the issue of classification of methods and schemes of quarry fields opening // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2020. Vol. 2. P. 42-74. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-2-42-74.

12. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2019. Vol. 3. P. 4-20. DOI:10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.

13. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 2. Passports of excavators faces // Journal of Mining and Geotechnical Engineering. 2019. Vol. 4. P. 4-29. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.

Original Paper

UDC 622.271.3:621.879.3 © E.V. Loginov, T.A. Tyuleneva, 2021
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 12, pp. 6-10
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10>

Title
CONTROL OF QUARRY PARAMETERS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC BACKHOES

Authors
 Loginov E.V.¹, Tyuleneva T.A.²

¹ St. Petersburg Mining University, St. Petersburg, 199106, Russian Federation
² Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation

Authors Information
Loginov E.V., Phd (Engineering), Senior Lecturer,
 e-mail: loginov_ev@pers.spmi.ru
Tyuleneva T.A. Phd (Economic), Associate Professor,
 e-mail: krukta@mail.ru

Abstract
 The article describes method to control the operational stripping ratio when hydraulic backhoes are used, based on application of mathematical modeling elements of averaging its value, which ensures high accuracy of the results and excludes the human factor in the calculation. The economic effect from surface mining of mineral deposits largely depends on the degree of rationality in the selection of the mining mode and the solution of the problem to average the operating overburden ratio, which is different in various periods of its operation. At the same time, it is not always possible to find practical recommendations in the specialized literature on the calculation of the average values of stripping ratio and application of the selected mode of open-cast mining, which is often caused by the need to assess changes in the size of the working area during the life of the open pit.

Keywords
 Strip ratio, Hydraulic backhoe, Angle of slope, Parameter modeling, Surface mining.

- References**
1. Tarazanov I.G. & Gubanov D.A. Performance of the Russian coal industry in January-June 2021. *Ugol'*, 2021, (9), pp. 25-36. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-25-36.
 2. Tyuleneva T. & Moldazhanov M. The Use of Environmental Taxation Instruments in Order to Ensure Sustainable Development of Mining Region. *E3S Web of Conferences*, 2020, Vol. 174, Article 04061.
 3. Loginov E.V. & Tyukov P.O., Substantiation of development system parameters taking into account the main dimensions of working equipment used in the development of mineral deposits by open-pit method, *E3S Web of Conferences*, 2021, Vol. 266, Article 04014.
 4. Arsenyev A.I. Defining productivity and open-pit boundaries. Moscow, Nedra Publ., 1970, 320 p. (In Russ.).
 5. Anistratov Yu.I. & Anistratov K.Yu. Designing of surface mines. Moscow, NPK GEMOS Ltd., 2002, 176 p. (In Russ.).

6. Bilin A.L. Classification of overburden ratios. *Gornyj informacionno-analiticheskiy búlleten'*, 2014, (12), pp. 52-63. (In Russ.).
7. Loginov E.V., Ligotsky D.N. & Argimbaev K.R. Averaging the operating stripping ratio for sinking mining systems based on mathematical simulation. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, Vol. 1614, pp. 1-6.
8. Loginov E.V., Argimbaev K.R., Ligotsky D.N. et al. Investigations of the Material Composition of Iron-containing Tails of the Enrichment of the Mining and Processing Combines of the Kursk Magnetic Anomaly of Russia International. *Journal of Engineering Transactions A (Basics)*, 2020, (33), pp. 184-194.
9. Mikhailov V.G., Karasev V.A., Mikhailov G.S. et al. Development of innovative architecture of the organizational and economic mechanism for the nature protection management / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: All-Russian Research-to-Practice Conference "Ecology and Safety in the Technosphere", Yurga, 6–7 march 2017. Yurga: Institute of Physics Publishing, 2017, Article 012008.
10. Tyuleneva T.A. Problems and Prospects of Regional Mining Industry Digitalization / E3S Web of Conferences: 5, Kemerovo, 19-21 october 2020. Kemerovo, 2020. Article 04019.
11. Kolesnikov V.F. & Janočko J. On the issue of classification of methods and schemes of quarry fields opening. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*, 2020, (20), pp. 42-74. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-2-42-74.
12. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 1. General provisions. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*, 2019, (3), pp. 4-20. DOI:10.26730/2618-7434-2019-3-4-20.
13. Strelnikov A.V. Typical faces passports for the development of coal-bearing zones of Kuzbass quarry fields with backhoes. Part 2. Passports of excavators faces. *Journal of Mining and Geotechnical Engineering*, 2019, (4), pp. 4-29. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-4-4-29.

For citation
 Loginov E.V. & Tyuleneva T.A. Control of quarry parameters to improve the efficiency of hydraulic backhoes. *Ugol'*, 2021, (12), pp. 6-10. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.

Paper info
 Received October 1, 2021
 Reviewed October 15, 2021
 Accepted November 18, 2021

SURFACE MINING