

# ГЕОТЕХНОЛОГИЯ: ПОДЗЕМНАЯ, ОТКРЫТАЯ, СТРОИТЕЛЬНАЯ

УДК 622.232.8

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-5-11

## Обоснование параметров горнотехнической системы карьера для разработки Олимпиадинского золоторудного месторождения

Кузнецов Д. В.<sup>1\*</sup>, Косолапов А. И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Полюс Проект, г. Красноярск, Россия

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

\*e-mail: kuznetsovdy@mail.ru

### Реферат

**Введение.** В статье рассмотрены техника и технология ведения открытых горных работ на самом крупном в России золоторудном карьере «Восточный» с годовой производственной мощностью по руде до 15 млн т/год при глубине до 840 м.

**Методология исследований.** Приведены понятия технологического комплекса и горнотехнической системы карьера. С учетом этого предложена блок-схема, определяющая состав исследуемого объекта. На основании обобщения данных практики и опыта проектирования представлены особенности комплектования горнотранспортного оборудования и определения ключевых параметров горных работ.

**Результаты и выводы.** Приведены результаты оценки применения конвейерных систем для транспортирования вскрышных пород, а также дистанционно управляемых буровых станков, экскаваторов, автосамосвалов и бульдозеров в глубинной рудной части карьера. Проанализировано состояние горных работ. На примере схем показано изменение пространственных положений карьера и его размеров. Установлено, что для экономической эффективности конвейерного транспорта объем перевозимых вскрышных пород должен составлять не менее 50 % от общего календарного значения. При этом дробильный комплекс и перегрузочный пункт можно разместить на борту карьера на глубине 50 м от поверхности. Целесообразность применения систем дистанционного управления оборудованием оценена по возможности разрабатывать уступы с увеличенным углом откоса в глубинной рудной зоне карьера. Такое решение позволяет снизить максимальные годовые объемы вскрыши или при их почти неизменном значении повысить годовую производственную мощность по руде до уровня 15 млн т/год.

**Ключевые слова:** технологический комплекс карьера; горнотехническая система карьера; суровые климатические условия; глубина карьера; расстояние транспортирования горной массы; производственная мощность по руде; производительность по горной массе.

**Общие сведения о месторождении.** Олимпиадинское месторождение с запасами золота более 1000 т является одним из крупнейших в мире. Оно расположено в 600 км к северу от Красноярска и уже более тридцати лет разрабатывается карьером «Восточный».

Климатические условия района месторождения по классификации нормативных документов суровые (Строительная климатология: СП131.13330.2012 от 13.06.2012 г. / Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. М.: Минрегион России, 2012. 386 с.). В зимний период температура воздуха достигает  $-60^{\circ}\text{C}$  (в январе и феврале), а летом  $+34^{\circ}\text{C}$  (в июле). Норма выпадения осадков высокая, преобла-

дают затяжные морозящие дожди и обильные снегопады. Средняя крепость пород по шкале М. М. Протодяконова – 10–12, средний объемный вес пород – 2,7 т/м<sup>3</sup>, расстояния транспортирования вскрышных пород во внешние отвалы и руды до ЗИФ составляют 5–10 км.

**Применяемая техника и технология горных работ.** Трудоемкость и технико-экономическая эффективность горных работ на карьере предопределена влиянием множества факторов и параметров. Наиболее значимыми среди них являются прочностные свойства пород, глубина и размеры в плане, расстояния транспортирования руды и вскрыши, природно-климатические характеристики.

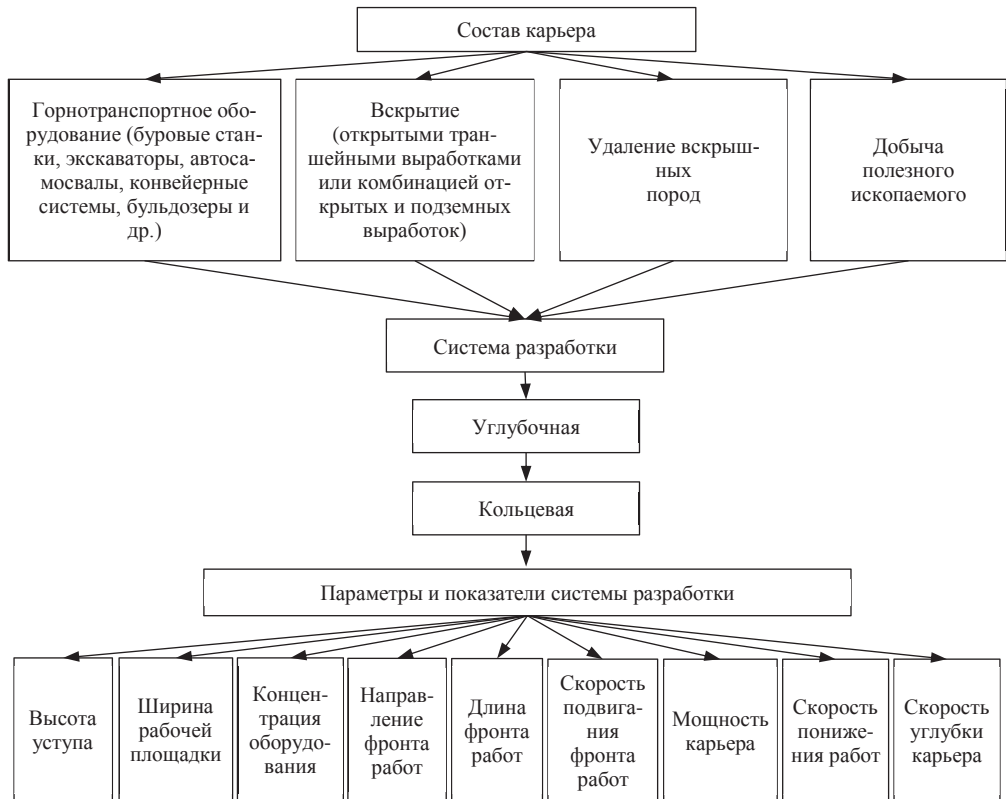


Рис. 1. Блок-схема структуры карьера «Восточный» как технологического комплекса и горно-технической системы

Fig. 1. The flowchart of the pit Vostochny structure as a technological complex and mining technical system

В связи с крутонаклонным падением рудных тел и плановыми объемами горных работ максимальная глубина карьера в настоящее время достигла 500 м. С 2005 по 2018 г. интенсивно разрабатывали III очередь с годовой производственной мощностью по руде 8 млн т и производительностью по горной массе до 30 млн м<sup>3</sup>. В 2018 г. при увеличении общих объемов горной массы до 46 млн м<sup>3</sup> были начаты вскрышные работы в границах IV очереди с целью последующего достижения годовой производственной мощности по руде 13,4 млн т.

Для выполнения этих объемов и достижения наилучших экономических показателей применяют современное горнотранспортное оборудование различных производителей, обеспечивают взаимосвязь технологии производства вскрышных и добычных работ, с одной стороны, параметров и технологических характеристик комплекса оборудования – с другой.

Так, за срок разработки до границ III очереди карьера вместимость ковша экскаваторов возросла с 5 до 15 м<sup>3</sup>, грузоподъемность автосамосвалов увеличилась с 30 до 136 т, а для дальнейшего развития горных работ до границ IV очереди приобретены экскаваторы с вместимостью ковша 35 м<sup>3</sup> и автосамосвалы грузоподъемностью 220 т.

Вместе с тем достижение наилучших технико-экономических показателей разработки месторождения возможно только при увязке технологии производства вскрышных и добычных работ с параметрами и технологическими характеристиками комплекса оборудования.

**Теория и методология исследований.** Для такого единства технологии и комплексной механизации открытых разработок В. В. Ржевским введено понятие технологического комплекса карьера как совокупности комплекса оборудования и технологических решений (в первую очередь по системам разработки и вскрытия и их параметрам), совместно обеспечивающих безопасное, высокопроизводительное и экономичное выполнение горных работ в плановых объемах [1, 2]. Если развить эту мысль, то любой карьер можно рассматривать как горнотехническую систему, представляющую собой совокупность горных конструкций, оборудования, технологических процессов горного производства во взаимодействии с вмещающим их участком недр [3].

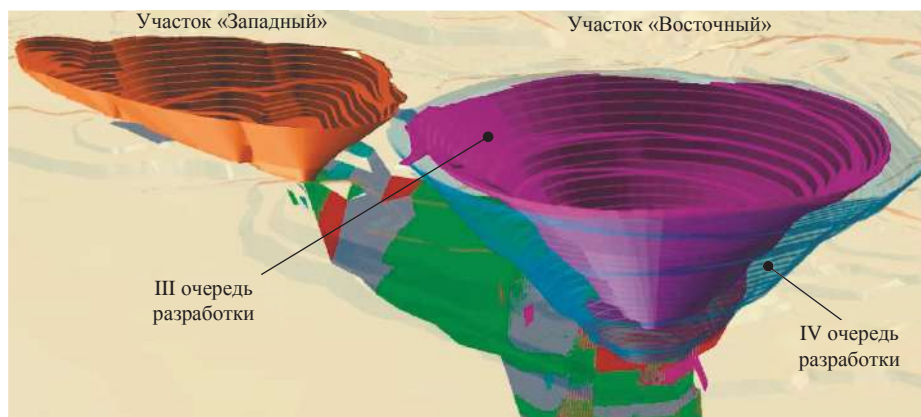


Рис. 2. Модель разработки Олимпиадинского месторождения до проектной глубины 750 м  
Fig. 2. The model of the Olimpiadinsky deposit mining up to the design depth of 750 m

С учетом этого положения для принятия решений по дальнейшей разработке месторождения предложена блок-схема (рис. 1).

**Результаты и их анализ.** С учетом изложенного проектными решениями для разработки IV очереди карьера обоснован выбор следующего оборудования: буровые станки СБШ-250/270, PV-351 с диаметром долота до 270–351 мм, экскаваторы ЭКГ-18(20), WK-20, WK-35, Komatsu PC 5500 с вместимостью ковша до 18–35 м<sup>3</sup>, автосамосвалы CAT 793 грузоподъемностью 220 т.

Данные модели оборудования с учетом принципов системности должны заменить применяемые ранее для разработки III очереди буровые станки СБШ-250МНА, DML, PV-235 с диаметром долота 215,9–250,0 мм, экскаваторы ЭКГ-10, Komatsu PC 3000 с вместимостью ковша 10–15 м<sup>3</sup>, автосамосвалы CAT 777 и CAT 785 грузоподъемностью 90–136 т.

Как показали выполненный анализ рынка [4, 5], расчеты и исследования авто-ров [6], эффективность новых машин в условиях месторождения предопределена возможностью продолжить разработку до 2028 г. с заданной интенсивностью,

а также меньшими инвестициями и эксплуатационными затратами как наиболее известными критериями [7, 8], большей устойчивостью к негативному влиянию природных климатических факторов и сопоставимостью рекомендованного срока эксплуатации со сроком ведения горных работ [9].

Модель карьера, иллюстрирующая его развитие до границ IV очереди, показана на рис. 2. Причем высота уступа, разрабатываемого экскаваторами, для обеспечения необходимой скорости разноса борта принята 15 м. Минимальная ширина рабочей площадки в зоне разноса составляет 78 м, критическая – 51 м. Минимальная ширина транспортной бермы при уклоне 100 ‰ равна 46 м.

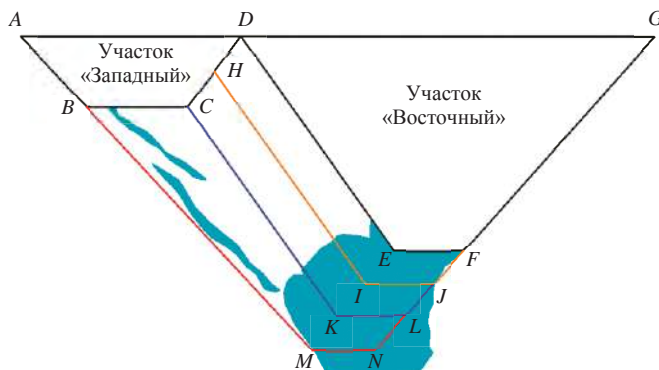


Рис. 3. Схема разработки Олимпиадинского месторождения апробированной техникой и технологией до глубины: 750 м – проектный контур  $ABCDEFGG$ ; 780 м – контур  $ABCHIJG$ ; 810 м – контур  $ABCKLG$ ; 840 м – контур  $AMNG$   
 Fig. 3. The scheme of the Olimpiadinsky deposit mining with the tested equipment and technology up to the depth of: 750 m – a design contour of  $ABCDEFGG$ ; 780 m –  $ABCHIJG$  contour; 810 m –  $ABCKLG$  contour; 840 m –  $AMNG$  contour

Проведенный горно-геометрический анализ показал, что расширение границ карьера принятым оборудованием и технологией возможно по схеме на рис. 3. Здесь проектное положение границ IV очереди карьера до глубины 750 м соответствует контуру  $ABCDEFGG$ , перспективные положения границ V очереди до глубины 780, 810 и 840 м – контурам  $ABCHIJG$ ,  $ABCKLG$  и  $AMNG$  соответственно. По мере понижения горных работ и прирезки запасов руды участки «Восточный» и «Западный» объединяются в единое пространство.

При исследовании режима горных работ на базе полученных перспективных границ разработки было оценено множество вариантов календарных графиков добычи прирезаемых запасов руды с различием сроков начала разработки V очереди карьера и годовых вскрышных объемов. В результате установлено, что при неизменной проектной производственной мощности по руде период открытой разработки месторождения возможно продлить до 2034 г. Однако годовые объемы выемки вскрыши будут увеличены в 1,6–1,8 раза, а для их транспортирования необходимо дополнительно приобрести и ввести в эксплуатацию около 70 ед. 220-тонных автосамосвалов.

При разработке месторождения на таких глубинах экономическая эффективность будет предопределена видом транспорта [10, 11]. Для его выбора предложена схема, приведенная на рис. 4.

Согласно этой схеме сформированы два варианта продолжения работ. По первому в контуре  $AMNG$  рассмотрено применение конвейерных систем для транспортирования вскрышных пород, а по второму в контуре  $ABCH'NN'JG$  – исполь-

зование автоматизированных систем дистанционного управления буровыми станками, экскаваторами, автосамосвалами и бульдозерами.

С учетом того что основным недостатком циклично-поточной технологии (ЦПТ) в условиях месторождения является необходимость привлечения больших инвестиций, а их компенсация возможна за счет сокращения количества приобретаемых автосамосвалов и значительного снижения удельной себестоимости транспортирования, оценку эффективности ЦПТ осуществляли с использованием чистого дисконтированного дохода. В результате установлено, что экономическое тождество по вариантам транспортирования вскрыши автосамосвалами и конвейерными системами в рассматриваемых границах карьерного пространства возникает при годовом объеме перевозок примерно 50 % от общего календарного значения. Конвейерное оборудование при этом возможно разместить на борту по линии  $F'G'$  с углом наклона до  $37^\circ$ , дробильный комплекс и перегрузочный пункт – в точке  $F'$  на глубине не менее 50 м от поверхности.

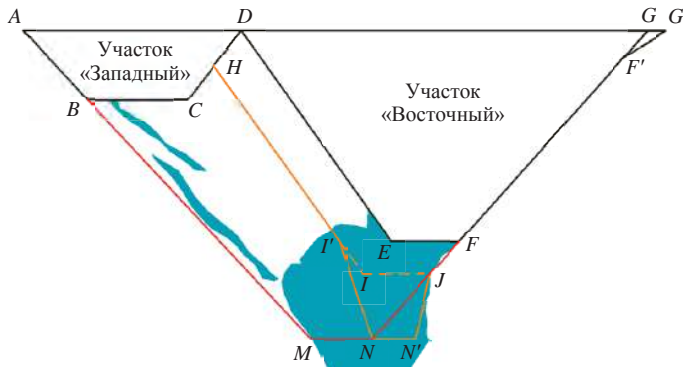


Рис. 4. Схема перспективной разработки Олимпиадинского месторождения до глубины 840 м с применением конвейерного транспорта в контуре  $AMNF'G'$  и дистанционно управляемого оборудования в контуре  $I'JN'N$

Fig. 4. The scheme of Olimpiadinsky deposit advanced mining up to the depth of 840 m with the use of conveyor transport in a contour of  $AMNF'G'$  and the remote-controlled equipment in  $I'JN'N$  contour

Вариант развития карьера в контуре  $ABCHI'NN'JG$  на рис. 4 принят к оценке на основе базовых вариантов с предельной глубиной разработки 780 и 840 м в контуре  $ABCHI'JG$  и контуре  $AMNG$  соответственно (рис. 3). При этом в глубинной части выделена рудная зона  $I'NN'JI$  с увеличенными до  $83^\circ$  углами откосов уступов и дополнительными запасами руды. Горные работы в данной зоне ведут комплексами оборудования с дистанционным управлением. Это позволяет снизить максимальные годовые объемы вскрыши или при их почти неизменном значении повысить годовую производственную мощность по руде до уровня 15 млн т/год.

Стоит отметить, что в настоящее время для большей безопасности работ на карьере уже реализуется проект по внедрению подобного оборудования. Укомплектованы имеющиеся буровой станок Atlas Copco DML с диаметром долота 215,9 мм; экскаватор Komatsu PC 3000 с вместимостью ковша  $15 \text{ м}^3$ ; 5 ед. автосамосвалов CAT 777 F грузоподъемностью 91 т и бульдозер Komatsu D 275A. При успешном развитии проекта использование известных преимуществ машин с дистанционным управлением целесообразно и на стадии доработки IV очереди карьера. Для оценки эффективности работы можно применить предложенные ранее схемы и критерии [12].

Таким образом, к основным причинам, усложняющим процесс обоснования параметров горнотехнической системы карьера «Восточный», следует отнести большое количество и высокую ценность запасов золота; значение этих запасов для масштабов страны; большую производственную мощность карьера и глубину разработки; ограниченность карьерного пространства, рабочих размеров и параметров оборудования; высокую себестоимость горных работ и многомиллионные инвестиции. Решение этих задач позволит обеспечить безопасное, высокопроизводительное и экономичное выполнение горных работ в плановых объемах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ржевский В. В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация. М.: Либроком, 2010. 552 с.
2. Ржевский В. В. Горные науки. М.: Недра, 1985. 96 с.
3. Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р. Горное дело: терминологический словарь. М.: Горная книга, 2016. 635 с.
4. Market analysis and forecast loading & haulage equipment. The Parker Bay Company, December, 2015. 129 p.
5. Подэрни Р. Ю. Мировой рынок поставок современного выемочно-погрузочного оборудования для открытых горных работ // ГИАБ. 2015. № 2. С. 148–167.
6. Кузнецов Д. В. Обоснование технологических комплексов горнотранспортного оборудования для открытой разработки рудных месторождений в суровых климатических условиях: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2015. 150 с.
7. Burt C. Equipment selection for surface mining: a review // Interfaces. 2014. No. 44(2). P. 143–162.
8. Burt C., Cacceta L. Equipment selection for mining: with case studies. 2018. 155 p.
9. Runge I. Economics of mine planning and equipment selection // Mine Planning and Equipment Selection (MPES). 2010. P. 93–100.
10. Васильев М. В. Транспорт глубоких карьеров. М.: Недра, 1983. 295 с.
11. Яковлев В. Л. Транспорт глубоких карьеров. Состояние, проблемы, перспективы // Горное дело. 2013. № 1. С. 11–18.
12. Кузнецов Д. В., Косолапов А. И. Оценка целесообразности перехода на новые комплексы оборудования при доработке глубоких карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 4. С. 4–11.

Поступила в редакцию 27 февраля 2019 года

#### Сведения об авторах:

**Кузнецов Дмитрий Владимирович** – кандидат технических наук, ведущий инженер горно-геологического отдела компании Полюс Проект. E-mail: kuznetsovdv@mail.ru

**Косолапов Александр Иннокентьевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой открытых горных работ Сибирского федерального университета. E-mail: kosolapov1953@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-5-11

### The validation of the pit mine technical system parameters for the Olympiadinsky gold ore deposit mining

Dmitrii V. Kuznetsov<sup>1</sup>, Aleksandr I. Kosolapov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Polyus Project, Krasnoyarsk, Russia.

<sup>2</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

#### Abstract

**Introduction.** The article reviews the equipment and technology for open mining operations at the largest Russian gold pit Vostochny with the annual ore production capacity up to 15 million tons per year with the depth up to 840 m.

**Research theory.** Concepts of the technological complex and the pit mine technical system are given. Taking this into account the flowchart which defines the studied object structure is offered. On the basis of integrating practice data and design experience the features of mining-transport equipment kitting out and mining operations key parameters determination are introduced.

**Results and conclusions.** The results of conveyor systems application evaluation for overburden rocks transportation are presented as well as remotely-controlled drilling rigs, excavators, dump trucks and bulldozers in a deep ore part of a pit. The condition of mining operations is analysed. On the example of schemes, the pit attitude positions and sizes change is shown. It is established that for conveyor transport economic efficiency, the volume of the transported overburden rocks has to be not less than 50% of the

general calendar value. At the same time it is possible to place a crushing complex and a reloading point at the edge of an opens pit at a depth of 50 m from surface. The reasonability of equipment remote control systems application is estimated by the possibility to develop edges with the increased slope angle in a deep ore zone of a pit. Such decision allows to reduce the maximum annual volumes of overburden or at their almost invariable value to increase annual ore production capacity to the level of 15 million tons per year.

**Key words:** pit technological complex; mining technical system of a pit; severe climatic conditions; pit depth; distance of mined rock transportation; ore production capacity; mined rock productivity.

#### REFERENCES

1. Rzhetskii V. V. *Opencast mining. Technology and complex mechanization*. Moscow: Librokom Publishing; 2010. (In Russ.)
2. Rzhetskii V. V. *Mining science*. Moscow: Nedra Publishing; 1985. (In Russ.)
3. Trubetskoi K. N., Kaplunov D. R. *Mining: terminology dictionary*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2016. (In Russ.)
4. *Market analysis and forecast loading & haulage equipment*. The Parrker Bay Company, December, 2015. 129 p.
5. Poderni R. Iu. World of advanced extraction-and-loading machines for open pit mining. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 2: 148–167. (In Russ.)
6. Kuznetsov D. V. *Substantiating technological complexes of mining-transport equipment for ore deposits opencast mining under severe climatic conditions. PhD dissertation abstract*. Krasnoyarsk; 2015. (In Russ.)
7. Burt C. Equipment selection for surface mining: a review. *Interfaces*. 2014; 44(2): 143–162.
8. Burt C., Cacceta L. *Equipment selection for mining: with case studies*. 2018. 155 p.
9. Runge I. Economics of mine planning and equipment selection. *Mine Planning and Equipment Selection (MPES)*. 2010. P. 93–100.
10. Vasiliev M. V. *Transport of deep open pits*. Moscow: Nedra Publishing; 1983. (In Russ.)
11. Iakovlev V. L. Transport of deep open pits. State, problems, and prospects. *Gornoe delo = Mining*. 2013; 1: 11–18.
12. Kuznetsov D. V., Kosolapov A. I. Estimation of the advisability of the transition into new complexes of mining-and-transport equipment under deep open pits development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 4: 4–11. (In Russ.)

Received 27 February, 2019

#### Information about authors:

**Dmitrii V. Kuznetsov** – PhD (Engineering), leading engineer of Mining and Geological Department of the company “Polyus Project”. E-mail: kuznetsovdv@mail.ru

**Aleksandr I. Kosolapov** – DSc (Engineering), Professor, the Head of Opencast Mining Department, Siberian Federal University. E-mail: kosolapov1953@mail.ru

**Для цитирования:** Кузнецов Д. В., Косолапов А. И. Обоснование параметров горнотехнической системы карьера для разработки Олимпиадинского золоторудного месторождения // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 5–11. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-5-11

**For citation:** Kuznetsov D. V., Kosolapov A. I. The validation of the pit mine technical system parameters for the Olympiadinskii gold ore deposit mining. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 4: 5–11 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-5-11