

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА И ПОРЯДКА ВВОДА ГОРНОТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РАСКОНСЕРВАЦИИ ВРЕМЕННО НЕРАБОЧИХ БОРТОВ

Гавришев С.Е., Овсянников М.П.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск

Ключевые слова: глубокие карьеры, экскаваторы, временно нерабочий борт, расконсервация, время расконсервации, порядок отработки, экскаваторный блок.

Аннотация. В настоящее время на глубоких карьерах повсеместно применяется технология формирования временно нерабочих бортов (ВНБ). В общем виде, ВНБ представляет собой целик с уменьшенными рабочими площадками и различными комбинациями совмещенных уступов. Угол откоса такого борта может достигать высоких значений и приближаться к углам откоса нерабочего борта карьера в конечном положении. Это позволяет законсервировать часть объемов горных пород и перенести сроки их отработки, что является одним из способов регулировки режима горных работ. Для возобновления горных работ требуется проведение расконсервационных мероприятий. Они включают в себя формирование рабочих площадок на горизонтах ВНБ и подготовку их к дальнейшей эксплуатации. Выбор технологической схемы проведения расконсервации на ВНБ зависит от конструкции борта, необходимого времени, а также количества используемого оборудования. Постепенный ввод новых горизонтов в процесс расконсервации является достаточно эффективным и часто применяемым способом, так как таким образом обеспечивается равномерность ведения работ и минимизируются простои оборудования за счет совмещения работ на смежных горизонтах. Это способствует увеличению интенсивности разноса временно нерабочего борта. Общая скорость расконсервации ВНБ в значительной степени зависит от ввода новой техники и скорости подвигания рабочих горизонтов. Рациональным подходом к организации работ по ликвидации временно нерабочего борта является определение оптимального количества оборудования, которое будет задействовано при проведении этих работ.

DETERMINATION OF THE NUMBER AND PROCEDURE FOR THE COMMISSIONING OF MINING TRANSPORT EQUIPMENT DURING RE-CONSERVATION OF TEMPORARILY NON-WORKING PITS WALL

Gavrishev S.E., Ovsyannikov M.P.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Keywords: deep open-pits, excavators, temporarily non-working side, re-conservation, re-conservation time, mining method, block of the excavator.

Abstract. At present, the technology of forming temporarily non-working pit wall is widely used in deep opencast mining. In general terms, a temporarily non-working pit wall is a pillar with reduced working areas and various combinations of combined benches. The slope angle of such a face can reach high values, approaching the slope angles of the non-working pit wall of the mine in the final position. This makes it possible to conserve part of the rock mass and postpone its extraction, which is one of the ways to regulate the mining process. The resumption of mining operations requires re-conservation works. These include the formation of working faces on the horizons of the temporarily non-working pit wall and their preparation for further operation. The choice of the technological scheme for carrying out the reclamation of the temporarily non-working pit wall depends on the design of the pit wall, the time required, and the amount of equipment to be used. The gradual introduction of new horizons into the re-conservation process is rather effective and frequently used method, as it ensures uniformity of work and minimizes equipment downtime due to the combination of work on adjacent horizons, which contributes to increasing the intensity of the temporarily non-working pit wall. The overall rate re-conservation of a temporarily non-working pit wall depends largely on the introduction of new equipment and the speed of movement of the working horizons. A rational approach to organizing the removal of a temporarily non-working pit wall to determine the optimum amount of equipment to be used during this operation.

Введение

В настоящее время в горнодобывающей промышленности отработка глубоких карьеров, в подавляющем большинстве случаев, связана с использованием технологии, при которой рабочий борт карьера частично или полностью консервируется [1]. Временная консервация пород необходима, в первую очередь, для регулирования текущего коэффициента вскрыши с

целью выравнивания графика режима горных работ, интенсификации производственных мощностей, а также при разделении вскрышных и добычных зон на разных участках карьера или группы сближенных одновременно обрабатываемых залежей отдельными карьерами [2].

Формирование временно нерабочего борта (ВНБ) лежит в основе рассматриваемой технологии обработки месторождений. ВНБ – это рабочий борт карьера или его часть, который консервируется на определенный период времени. Во время консервации проводятся мероприятия по уменьшению ширины рабочих площадок, увеличению высоты уступов и формированию сдвоенных или строенных уступов в рабочей зоне. Таким образом, достигается цель, при которой результирующий угол борта ВНБ может приближаться к углу борта карьера в его конечном положении. Это позволяет осуществить консервацию части пустых пород во временно нерабочем борте.

Изучение и оптимизация процесса расконсервации ВНБ представляет собой важную задачу с точки зрения увеличения эффективности и экономичности процесса добычи полезных ископаемых [3].

При расконсервации временно нерабочих бортов на глубоких карьерах важным аспектом является выбор горнотранспортного оборудования. На ВНБ эффективно использование гидравлических карьерных экскаваторов малой мощности в сочетании с автосамосвалами [4, 5].

Основными преимуществами применения рассматриваемого типа выемочно-погрузочного оборудования являются их небольшие линейные размеры, а также возможность работы в ограниченных условиях.

Временно нерабочие борта часто характеризуются узкими рабочими площадками и ограниченной шириной, которые могут быть уменьшены даже до ширины предохранительной бермы. В таких условиях применение горного оборудования большой мощности становится затруднительным и, в некоторых случаях, полностью невозможным. Гидравлические экскаваторы малой мощности легче маневрируют и работают в ограниченных пространственных условиях.

При классической схеме расконсервации временно нерабочего борта ввод в работу новых горизонтов происходит сверху вниз. Однако из-за ограничений в пространстве начало работ на нижних горизонтах становится возможным только после расширения рабочих площадок верхнего горизонта. Этот сдерживающий фактор определяет порядок начала работ на горизонтах.

Именно здесь экскаваторы малой мощности в паре с автосамосвалами проявляют свою эффективность. Их габариты и маневренность позволяют работать на нижних горизонтах, даже когда верхние еще не полностью расконсервированы. Данный подход позволяет более эффективно использовать доступное пространство и увеличивает производительность работ.

Исследование использования карьерных гидравлических экскаваторов малой мощности в сочетании с автосамосвалами при расконсервации временно нерабочих бортов является актуальной. Такой способ механизации горных работ позволяет преодолеть пространственные ограничения и ускорить процесс ввода новых горизонтов в эксплуатацию на глубоких карьерах.

Постановка проблемы

От конструкции временно нерабочего борта зависят объемы консервации горной массы, скорость и порядок расконсервации, а также безопасность ведения работ в карьере. Помимо определения скорости расконсервации ВНБ и объемов законсервированных пород, важно также учитывать геологические особенности месторождения. Так, например, при работе в сложных горно-геологических условиях требуется особое внимание к конфигурации борта. Выбор оптимальных размеров высоты уступа, угла наклона, размера оставляемых площадок и порядка их размещения оказывает прямое влияние на эффективность и безопасность процесса консервации.

Увеличение ширины рабочих площадок позволяет уменьшить результирующий угол временно нерабочего борта и, тем самым, снизить риски обрушений борта, а также увеличить

скорость его расконсервации. Однако, при уменьшении угла откоса ВНБ на 1° объемы законсервированных пород также уменьшается, в среднем, на 4% [6].

Как правило, расконсервация ВНБ начинается на верхнем горизонте целика с расширения узких площадок и формирования пространства для начала работ на нижележащем горизонте. В общем виде развитие горных работ изображено на рисунке 1 [7].

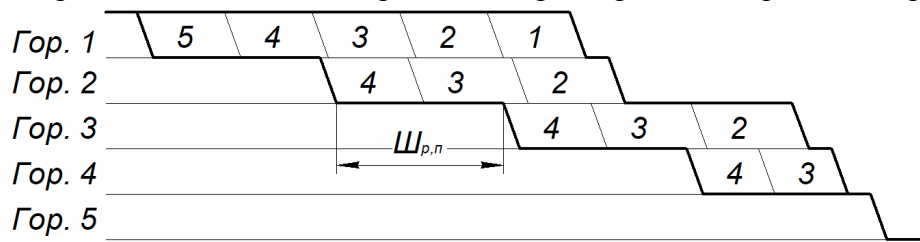


Рис. 1. Порядок развития горных работ при расконсервации ВНБ

Рассматриваемый временно нерабочий борт представляет собой пару совмещенных уступов, разделяемых предохранительной бермой и оставленной транспортной бермой через каждую пару горизонтов. Подобная конструкция позволяет достичь угла наклона ВНБ около $30-40^\circ$ [8]. Отмеченные экскаваторные блоки имеют нумерацию, показывающую очередность их обработки для формирования рабочего борта с рабочими площадками нормальной ширины.

Процесс расконсервации временно нерабочего борта развивается в вертикальном направлении сверху вниз, для работ на нижних горизонтах необходимо расширить транспортные и предохранительные бермы на верхних горизонтах. Таким образом, вводятся в эксплуатацию новые горизонты, и процесс расконсервации временно нерабочего борта продолжается параллельно на нескольких уровнях, пока целик не будет полностью погашен.

Время, необходимое для формирования рабочего борта, складывается из суммы затраченного времени на формирование рабочих площадок на каждом уступе временно нерабочего борта:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n, \quad (1)$$

где t – полное время, необходимое на расконсервацию ВНБ, лет; t_n – время на расконсервацию одного горизонта n , лет.

Помимо последовательной обработки горизонтов сверху вниз, для увеличения скорости расконсервации ВНБ возможно совмещение работ на смежных горизонтах. При этом верхний горизонт должен обрабатываться с достаточным опережением для обеспечения нормальной работы горнотранспортного оборудования на нижнем горизонте.

Увеличение количества одновременно обрабатываемых уступов позволяет достичь максимальной интенсивности разноса временно нерабочего борта.

Минимальный объем горной породы, подлежащий выемке, перед вводом в работу нового горизонта определяется объемом одного экскаваторного блока, после обработки которого на уступе формируется рабочая площадка достаточной ширины для начала буровзрывных работ.

Объем горной породы в одном экскаваторном блоке, m^3 :

$$V_{\delta n} = Ш_{p,n} \cdot h_y \cdot L_{\delta}, \quad (2)$$

где $Ш_{p,n}$ – нормальная ширина рабочей площадки экскаватора, м; L_{δ} – длина экскаваторного блока, м; h_y – высота уступа в целике, м.

Формируемый фронт горных работ должен иметь длину, достаточную для работы горного оборудования, а также обеспечивать его независимую работу с оборудованием, работающим на верхнем горизонте. При определении длины экскаваторного блока также учитывается размер длины резервной зоны [9-11].

Длина экскаваторного блока [12]:

$$L_{\delta} = \sum_{i=1}^l l_{B_i} + \sum_{j=1}^m l_{\delta_j} + \sum_{k=1}^n l_k + l_p, \quad (3)$$

где $\sum l_B \lim_{x \rightarrow \infty}$ – общая длина выемочных блоков, м; $\sum l_b$ – общая длина буровых блоков, м; $\sum l_t$ – общая длина транспортных зон, м; l_p – длина резервной зоны, м; i, j, k – номер выемочного, бурового блоков и транспортной зоны; l, m, n – количество выемочных, буровых блоков и транспортных зон.

Объем породы $V_{zop.z}$ (м³), которую необходимо отработать в одном горизонте для его расконсервации, определяется по формуле:

$$V_{zop.z} = \left(\frac{H_{ВНБ} - (z-1) \cdot h_y}{\cos(90^\circ - \beta)} \cdot \frac{\sin(\beta - \varphi)}{\sin \varphi} - Ш_{cp} \right) \cdot L_{ВНБ} \cdot h_y, \quad (4)$$

где $H_{ВНБ}$ – высота временно нерабочего борта, м; z – порядковый номер горизонта; β – угол наклона борта карьера во время разноса ВНБ, град; φ – угол наклона рабочего борта карьера, град; $L_{ВНБ}$ – длина ВНБ по протяженности, м.

Для эффективного ввода в работу смежных уступов необходимо соблюдать условие, когда расстояние между работающими на разных горизонтах экскаваторами не меньше длины экскаваторного блока.

Минимальным необходимым условием для ввода нового горизонта в процесс расконсервации является полная отработка одного экскаваторного блока на верхнем горизонте. При выемке каждого нового экскаваторного блока и при условии одновременной отработки всех уже введенных в процесс расконсервации горизонтов становится возможным увеличивать количество одновременно задействованной на расконсервации техники.

Таким образом, главным ограничением для количества используемой техники на расконсервации ВНБ является наличие подготовленного пространства для нормального функционирования горнотранспортного оборудования.

Методология

Чтобы определить время и порядок начала расконсервационных работ на горизонтах, в первую очередь, необходимо провести анализ и определить количество экскаваторных блоков на каждом уступе. Нахождение количество экскаваторных блоков M_z на горизонте z играет существенную роль в планировании и организации работы экскаваторов и всего процесса расконсервации ВНБ в целом:

$$M_z = V_{zop.z} / V_{bl}. \quad (5)$$

При поуступной технологической схеме расконсервации ВНБ и при условии одновременной работы одного комплекса горнотранспортного оборудования на горизонте максимальное количество оборудования, которое возможно использовать, ограничивается количеством горизонтов и количеством выделяемых на них экскаваторных блоков.

Если на карьере временно нерабочий борт сконструирован таким образом, что количество экскаваторных блоков на верхнем горизонте не превышает количество рабочих горизонтов на целике, то количество экскаваторных комплексов, которое может быть одновременно задействовано на расконсервации ограничивается количеством экскаваторных блоков первого горизонта.

Если количество горизонтов, подлежащих расконсервации, $N_{zop} > M_1$, то максимальное число экскаваторных комплексов, которые возможно задействовать при расконсервации временно нерабочего борта, будет

$$E_{max} = esM_1, \quad (6)$$

где e – количество экскаваторов, работающих одновременно на одном блоке, шт.; s – количество экскаваторных блоков на горизонте, обрабатываемых одновременно, шт.

Это объясняется тем, что после отработки одного экскаваторного блока становится возможным начать работу на нижнем горизонте. Затем, работы продолжаются уже на двух горизонтах, вплоть до отработки очередного экскаваторного блока и начала работы на следующем горизонте.

Когда на верхнем горизонте завершаются все работы по расконсервации, нет необходимости вводить новые экскаваторные комплексы, поскольку освободившийся комплекс перемещается на нижний горизонт.

Если временно нерабочий борт имеет конструкцию с большой протяженностью в плане и небольшой высотой, то максимальное количество одновременно работающих экскаваторных комплексов ограничивается количеством расконсервируемых горизонтов.

Если $N_{гор} \leq M_1$, то

$$E_{\max} = esN_{гор}. \quad (7)$$

При превышении количества экскаваторных комплексов расчетной величины E_{\max} невозможно обеспечить бесперебойную работу оборудования и исключить его простой.

Достижение максимальной скорости расконсервации временно нерабочего борта возможно только при использовании расчетного максимального числа экскаваторных комплексов. Таким образом, общая скорость расконсервации ВНБ будет зависеть от ввода новых единиц техники, а также скорости подвигания горизонтов соответственно. Однако, такой вариант работы на ВНБ часто оказывается нецелесообразным с экономической точки зрения, так как с увеличением числа вовлекаемого оборудования растут и эксплуатационные затраты, а в случае использования специализированных для работ на ВНБ комплексов горнотранспортного оборудования увеличиваются и капитальные затраты.

Ускорение процесса формирования рабочего борта возможно путем оптимизации ведения горных работ на расконсервируемых горизонтах. Использование дополнительных единиц экскаваторной техники на одном блоке, и соответственно, на одном горизонте, имеет обоснованные ограничения. Так, в статье [13] было доказано, что применение более двух экскаваторов в пределах одного блока не является рациональным, использование большего количества экскаваторов ведет к существенному снижению производительности каждой отдельной единицы техники.

Для рассматриваемого способа расконсервации время начала работ на нижнем горизонте зависит от времени отработки экскаваторного блока верхнего горизонта:

$$T_{\text{бл}} = V_{\text{бл}} / Q_3, \quad (8)$$

где $T_{\text{бл}}$ – время отработки одного экскаваторного блока, лет; Q_3 – производительность экскаватора, м³/год.

Для поуступной технологической схемы расконсервации временно нерабочего борта определение необходимого времени для разноса горизонта z :

$$T_{гор.z} = T_{\text{бл}} \cdot z + \frac{V_{гор.z}}{Q_3 \cdot n}, \quad (9)$$

где $T_{гор.z}$ – время расконсервации горизонта m , лет.

В формуле (9) учитывается время, необходимое для разноса верхних горизонтов, поскольку полная расконсервация нижних горизонтов невозможна без достаточного подвигания рабочей зоны на всех вышележащих горизонтах.

Ввод новых единиц горнотранспортного оборудования в процесс расконсервации имеет вышеописанные ограничения, а существующая зависимость времени расконсервации от количества используемой техники не является линейной (рис. 2).

При увеличении количества вовлеченных в ликвидацию целика экскаваторов с 2 до 6 штук время расконсервации сокращается в 2,5 раза, однако при дальнейшем увеличении числа оборудования темпы существенно не изменяются. Так, если увеличить число выемочно-погрузочных машин в 2 раза с 10 до 20 штук, то скорость разноса ВНБ увеличится всего на 17%, при этом число капитальных и эксплуатационных затрат возрастет кратно.

Наиболее рациональный способ расконсервации временно нерабочего борта предполагает определение оптимального количества задействованного оборудования с учетом его перемещения на нижние горизонты.

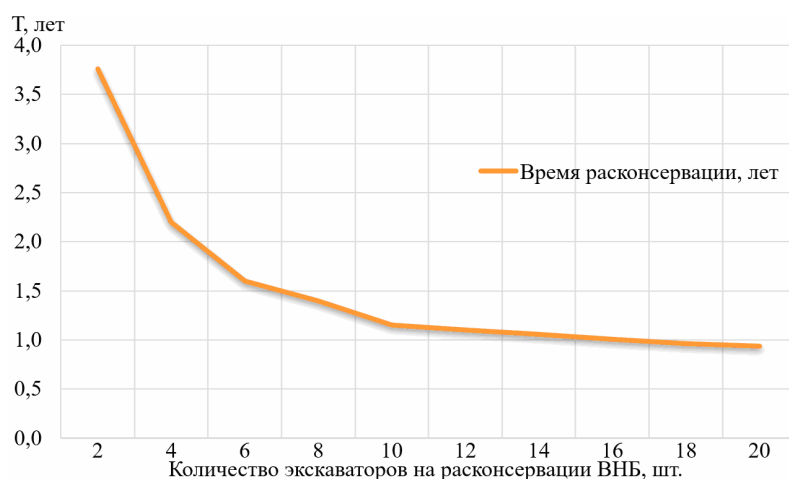


Рис. 2. График изменения времени расконсервации ВНБ при увеличении количества работающих экскаваторов

Заключение

Таким образом, выбор технологической схемы работы на временно нерабочем борту следует осуществлять, учитывая конструкцию ВНБ, время расконсервации горизонтов и экскаваторных блоков.

Принятие решения о количестве используемого на временно нерабочем борту горнотранспортного оборудования зависит от потребной скорости постановки ВНБ в рабочее положение, пространственных ограничений возникающих в ходе работ на уменьшенных площадках, а также экономической эффективности работы карьера.

Определено, что объем горной породы, подлежащей выемке на расконсервируемом горизонте для начала работ на нижележащем горизонте, определяется объемом экскаваторного блока. Размеры экскаваторного блока зависят от размеров выемочных и буровых блоков, а также транспортной зоны. Выявлено, что количество экскаваторных комплексов, которые могут быть задействованы на расконсервации ВНБ, ограничивается количеством горизонтов и блоков. Зависимость времени расконсервации ВНБ от количества оборудования имеет вид гиперболической функции, при этом использовании каждой дополнительной единицы техники увеличиваются затраты и усложняются процессы организации работ. Необходимо учитывать данный фактор при выборе оптимального количества оборудования и порядка его ввода в процесс расконсервации.

Список источников

1. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В. Особенности конструирования и расконсервации временно нерабочих бортов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – №2. – С. 272-275.
2. Яковлев В.Л., Саканцев Г.Г., Яковлев А.В., Переход Т.М. Регулирование режима горных работ глубоких карьеров большой протяженности с применением комбинированных временно нерабочих бортов // Проблемы недропользования. – 2020. – №1. – С. 18-25. – doi.org/10.25635/2313-1586.2020.01.018.
3. Burt C., Caccetta L. Equipment Selection for Surface Mining: A Review [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://optimization-online.org/?p=12376>.
4. Botyan E., Pushkarev A. Improving the methodology of choosing machinery models for the formation of an excavator and vehicle fleet during the modernization of a mining transport system, with account for the Arctic specifics // Transportation Research Procedia. 2021, vol. 57, pp. 106-112. doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.031.
5. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Колонюк А.А. Интенсивность формирования рабочей зоны глубоких карьеров: монография. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2013. – 189 с.
6. Flores-Fonseca C., Linfati R., Escobar J.W. Exact algorithms for production planning in mining considering the use of stockpiles and sequencing of power shovels in open-pit mines // Operation Research. 2022, vol. 22, pp. 2529-2553. doi.org/10.1007/s12351-020-00618-x.
7. Abdellah W.R., Hirohama A., Sainoki A., Towfeek A.R., Ali M.A.M. Estimating the Optimal Overall Slope Angle of Open-Pit Mines with Probabilistic Analysis // Applied Sciences. 2022, vol. 12(9), p. 4746. doi.org/10.3390/app12094746.

8. Яковлев А.М., Кантемиров В.Д., Титов Р.С. Методика оценки фронтов горных работ глубоких карьеров на основе ГГИС моделирования рабочей зоны // Проблемы недропользования. – 2023. – №1. – С. 41-52. – doi.org/10.25635/2313-1586.2023.01.041.
9. Дриженко А.Ю., Рыкус А.А. Обоснование параметров экскаваторно-автомобильных комплексов для железорудных карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – №1. – С. 173-176.
10. Шамаев М.К., Ташкулов А.А. Эффективность отработки вскрыши высокими уступами на месторождениях полезных ископаемых при открытой разработке // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – Т. 1, №5. – С. 94-102.
11. Rimele A. A., Dimitrakopoulos R., Gamache M. Dynamic stochastic programming approach for open-pit mine planning with geological and commodity price uncertainty // Resources Policy. 2020, vol. 65, pp. 101570. doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101570.
12. Василевский В.О. Обоснование технологии формирования временно нерабочего борта при отработке мульдобразных залежей угля: Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. – Москва: МГГУ, 2007. – 130 с.
13. Дерябин А.А. Разработка технологии вскрышных работ широкими панелями при использовании мощных экскаваторно-автомобильных комплексов: Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. – Москва: МГГУ, 1985. – 178 с.

References

1. Gavrishov S.E., Burmistrov K.V. Specifics of construction and deconservation of temporarily non-working boards // Mining informational and analytical bulletin. 2007, no. 2, pp. 272-275.
2. Yakovlev V.L., Sakantsev G.G., Yakovlev A.V., Perekhod T.M. Regulation of the mining mode on deep quarries of big extent with the use of combined temporarily non-working boards // Problems of Subsoil Use. 2020, no. 1, pp. 18-25. doi.org/10.25635/2313-1586.2020.01.018.
3. Burt C., Saccetta L. Equipment Selection for Surface Mining: A Review [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://optimization-online.org/?p=12376>.
4. Botyan E., Pushkarev A. Improving the methodology of choosing machinery models for the formation of an excavator and vehicle fleet during the modernization of a mining transport system, with account for the Arctic specifics // Transportation Research Procedia. 2021, vol. 57, pp. 106-112. doi.org/10.1016/j.trpro.2021.09.031.
5. Gavrishov S.E., Burmistrov K.V., Koloniuk A.A. Intensity of formation of the working zone of deep open pits: monography. – Magnitogorsk: NMSTU, 2013. – 189 p.
6. Flores-Fonseca C., Linfati R., Escobar J.W. Exact algorithms for production planning in mining considering the use of stockpiles and sequencing of power shovels in open-pit mines // Operation Research. 2022, vol. 22, pp. 2529-2553. doi.org/10.1007/s12351-020-00618-x.
7. Abdellah W.R., Hirohama A., Sainoki A., Towfeek A.R., Ali M.A.M. Estimating the Optimal Overall Slope Angle of Open-Pit Mines with Probabilistic Analysis // Applied Sciences. 2022, vol. 12(9), p. 4746. doi.org/10.3390/app12094746.
8. Yakovlev A.M., Kantemirov V.D., Titov R.S. Methodology for assessing the fronts of mining operations of deep quarries based on ggis modeling of the working area // Problems of Subsoil Use. 2023, vol. 1, pp. 41-52. doi.org/10.25635/2313-1586.2023.01.041.
9. Drizhenko A.U., Rykus A.A. Validation of parameters of excavator-truck complexes for iron ore open pits // Mining informational and analytical bulletin. 2002, no. 1, pp. 173-176.
10. Shamaev M.K., Tashkulov A.A. Efficiency of developing high sloping overburden in open pit mineral deposits // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. 2021, vol. 1, no. 5, pp. 94-102.
11. Rimele A. A., Dimitrakopoulos R., Gamache M. Dynamic stochastic programming approach for open-pit mine planning with geological and commodity price uncertainty // Resources Policy. 2020, vol. 65, pp. 101570. doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101570.
12. Vasilevskii V.O. Establishing the technology of temporarily non-working board formation during mining of muld-shaped coal deposits: of the diss. ... cand. of tech. sc. – Moscow: MSMU, 2007. – 130 p.
13. Deriabin A.A. Development of technology of stripping works with wide panels using powerful excavator-automobile complexes: of the diss. ... cand. of tech. sc. – Moscow: MSMU, 1985. – 178 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Гавришев Сергей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой открытой разработки месторождений полезных ископаемых	Gavrishov Sergei Evgenevich – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of development of mineral deposits
Овсянников Максим Павлович – аспирант	Ovsyannikov Maksim Pavlovich – postgraduate student
ovsyannikovmp@gmail.com	

Получена 15.01.2024