

УДК 622.232.8

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-1-22-29

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ СЕВЕРА

КУЗНЕЦОВ Д. В., КОСОЛАПОВ А. И.

В статье представлены результаты исследований динамики концентрации горного оборудования для выбора рационального варианта технологического комплекса карьера в суровых климатических условиях Севера. Показаны особенности технологии разработки карьеров при поэтапном развитии горных работ, временной консервации бортов и рабочих уступов. Для условий карьера «Восточный» по разработке Олимпиадинского золоторудного месторождения технология горных работ рассмотрена совместно с техническими средствами их осуществления. Установлена зависимость, позволяющая определять удельную производительность экскаваторных комплексов при разной длине блока панели. С учетом этого для имеющихся и перспективных моделей экскаваторов рассчитана требуемая обеспеченность взорванной горной массой. Предложены схемы сезонного производства горных работ, показано взаимное влияние природных, технических и технологических составляющих, что позволяет эффективно управлять производственной мощностью карьеров на рудных месторождениях в суровых климатических условиях.

Ключевые слова: суровые климатические условия; технологические комплексы карьера; рабочая зона карьера; концентрация горного оборудования; длина блока панели; ширина рабочей площадки; высота уступа; резерв взорванной горной массы.

Дальнейшее развитие открытого способа разработки рудных месторождений в России обусловлено освоением территорий Севера, Сибири и Дальнего Востока с суровым климатом. Причем выполнение основных объемов горных работ происходит на крупных карьерах при совокупном применении разного горно-транспортного оборудования увеличенной единичной мощности и усовершенствованных технологических решений.

В настоящее время глубина карьеров по добыче алмазов и золота в этих районах достигла 500–600 м. При этом за последние 15–20 лет годовая производительность по горной массе увеличилась более чем в 2 раза, а мощность оборудования возросла в 1,5–2,0 раза [1].

В подобных условиях особое значение приобретает задача регулирования режима горных работ. К тому же ограничение размеров карьеров с ростом их глубины, стремление работать с минимальным текущим коэффициентом вскрыши и перенесении объемов вскрышных работ на более поздние периоды, а также отсутствие возможности дальнейшего увеличения угла рабочего борта привели к неравномерному развитию карьерного пространства.

Одним из существенных научных достижений последних десятилетий для решения этих проблем в области открытой геотехнологии является создание и применение на многих глубоких карьерах поэтапной разработки с временной

Кузнецов Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, ведущий инженер горно-геологического отдела. 660028, г. Красноярск, ул. Телевизорная, 1, стр. 9, ООО «Полус Проект». E-mail: KuznetsovDV@mail.ru

Косолапов Александр Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой открытых горных работ. 660025, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 95, Сибирский федеральный университет. E-mail: Kosolapov1953@mail.ru

консервацией бортов и рабочих уступов [2]. При этом способе разработки часть фронта работ в карьере консервируют и выделяют временно нерабочие борта (ВНБ).

Разработка карьеров этапами позволяет законсервировать значительные объемы вскрышных пород, но ограничивает площадь рабочей зоны и усложняет организацию горных работ. Обычно ширина зоны разноса ВНБ не превышает 100 м и может составлять 30–40 м. Это позволяет одновременно разрабатывать не более 2–3 уступов, затрудняет подготовку горной массы к выемке, повышает частоту массовых взрывов и увеличивает количество перегонов оборудования. Экскаваторы часто работают в тупиковых забоях. Взорванная горная масса на одном уступе перекрывает рабочие площадки на нижележащих уступах и затрудняет работу транспорта. Заваливание транспортных съездов в результате взрывных работ в зоне разноса бортов может усложнить грузотранспортную связь с поверхностью.

Весьма важным в такой ситуации, по мнению авторов, является рациональное управление концентрацией горного оборудования в рабочей зоне карьеров и правильный выбор технологических комплексов открытых горных работ для разных периодов года.

Рассмотрим следующие основные понятия. *Концентрация горных работ* – это степень их сосредоточения в рабочем пространстве (рабочей зоне) карьера.

Оценить концентрацию открытых горных работ K_i можно следующим образом:

$$K_1 = \sum_1^n E_i / S_p, \text{ м}^3/\text{м}^2; \quad K_2 = N_k / S_p, \text{ ед.}/\text{м}^2; \quad K_3 = A_p / \sum_1^n E_i, \text{ т}/\text{м}^3;$$

$$K_4 = A_p / N_k, \text{ т}/\text{ед.}; \quad K_5 = A_p / S_p, \text{ т}/\text{м}^2,$$

где $\sum_1^n E_i$ – суммарная вместимость ковшей экскаваторов, м^3 ; N_k – количество комплексов оборудования, ед.; S_p – площадь рудной зоны карьера, м^2 ; A_p – производственная мощность карьера по руде, т.

Рабочая зона карьера – это зона, в которой выполняют основные технологические процессы открытых горных работ [3]. Здесь в рассматриваемый момент времени ведут подготовительные, вскрышные и добычные работы в соответствующих выработках [4, 5]. Эти выработки, т. е. траншеи, котлованы, вскрышные и добычные уступы, находятся в постоянном движении до достижения своего предельного (или промежуточного) положения, предусмотренного проектом разработки месторождения.

Интенсивность горных работ при этом характеризуется скоростью их понижения и подвигания фронта [6], которые в период углубки карьера (до момента достижения дна карьера) находятся в определенных соотношениях для соблюдения требуемых закономерностей формирования рабочего пространства [7, 8].

Понятие о технологических комплексах карьеров как совокупности комплексов оборудования и технологических решений, совместно обеспечивающих безопасное, высокопроизводительное и экономичное выполнение горных работ в плановых объемах, введено академиком В. В. Ржевским [3]. Разработанные и получившие дальнейшее развитие при этом положения в большинстве своем учитывают перечисленные особенности. Они справедливы и применимы для разработки современных глубоких карьеров Севера, но требуют системного дополнения с учетом рыночных условий, многообразия современного горнотранспортного оборудования, особенностей строения месторождений и климата.

Эти обстоятельства и предопределили проведение настоящих исследований, необходимых для обоснования размеров экскаваторных блоков и принятия решений по выбору технологических комплексов карьеров для разработки рудных месторождений в суровых климатических условиях Севера.

В качестве объекта исследований был принят самый крупный в России золоторудный карьер «Восточный». Его разработку ведут зонами концентрации уже около тридцати лет, при этом средний угол падения рудного тела составляет 82° , а площадь рабочей зоны карьера варьирует в очень широких пределах.

Анализ практики и имеющихся проектных решений показал, что высота добычного уступа за срок разработки карьера увеличилась с 5 до 15 м и это связано с изменением типоразмера экскаваторов. Так, в первые годы разработки карьера применялся экскаватор ЭКГ-5А и высота уступа составляла 5 м, в дальнейшем, при использовании ЭКГ-10, она составила 10 м, а в проекте разработки последней очереди, где запланированы еще более мощные ЭКГ-18, ЭКГ-32Р, WK-20, WK-35, Komatsu PC 5500 или их аналоги, достигнет 15 м.

В то же время размеры блоков для одного и того же экскаватора даже в течение нескольких месяцев меняются значительно. Их ширину устанавливают исходя из требований размещения необходимого оборудования, подъездных путей, линий электропередач. Суммарная длина, т. е. фронт работ на уступе, существенно влияет на производительность оборудования и интенсивность разработки уступа. Причем главными факторами, определяющими размер экскаваторных блоков, являются условия расстановки экскаваторов и условия их обеспечения взорванной горной массой на определенный срок бесперебойной работы.

Исходя из этого, за период наиболее интенсивной работы карьера было исследовано влияние длины фронта работ на уступе и длины блока панели на удельную производительность экскаваторов.

Для этого, используя данные маркшейдерских замеров и графические положения горных работ, определили площадь рабочей зоны карьера S_k , m^2 , как сумму площади рудной и вскрышной зон:

$$S_k = S_p + S_b,$$

где S_b – площадь вскрышной зоны карьера, m^2 .

При заданной ширине рабочей площадки ($\Pi_{p.п} \approx \text{const}$) для каждой модели экскаватора ($E \approx \text{const}$) рассчитали общую длину $L_{o.ф.}$, длину добычного $L_{д.ф.}$ и вскрышного $L_{в.ф.}$ фронтов работ, м:

$$L_{д.ф.} = \frac{S_p}{\Pi_{p.п}}; \quad L_{в.ф.} = \frac{S_b}{\Pi_{p.п}}; \quad L_{o.ф.} = L_{д.ф.} + L_{в.ф.}$$

Зная количество применяемых комплексов оборудования, определили длину блока панели, м:

$$L_6 = \frac{L_{д.ф.}}{N_k}.$$

Таким образом, годовая производственная мощность карьера по руде, т, определяется согласно выражениям:

$$A_p = N_k Q_k, \quad \text{или} \quad A_p = \sum_1^n E_i q_3,$$

где Q_k – производительность комплекса оборудования, т; q_3 – удельная производительность кубоковша экскаватора, t/m^3 , $q_3 = Q_k/E$.

В результате обработки полученных данных установили зависимость для определения удельной среднемесячной производительности экскаваторов в рассматриваемых условиях (рис. 1). Рассеивание проиллюстрированного здесь облака данных обусловлено главным образом тем, что длина фронта работ на уступе непрерывно изменяется, а число экскаваторов и блоков может быть только целым. Кроме того, существенное влияние на производительность экскаваторов оказывают неблагоприятные климатические факторы. Ранее было установлено [9], что сезонные колебания температуры воздуха, интенсивные осадки, туманы и прочие факторы снижают производительность электрических экскаваторов в декабре, январе и феврале по отношению к периоду май–сентябрь в среднем на 15–20 %. Для гидравлических экскаваторов в это время изменение производительности составляет примерно 30 %.

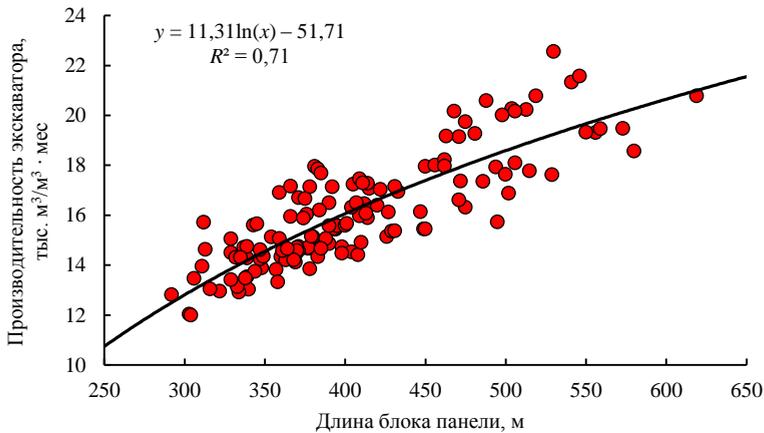


Рис. 1. Зависимость удельной производительности экскаваторов от длины блока панели в условиях карьера «Восточный» Олимпиадинского месторождения

С учетом этого для существующих и перспективных моделей экскаваторов рассчитали обеспеченность взорванной горной массой, сут:

$$n = \frac{L_0 \Pi_{р.п} h n_{дн}}{Q_{э.мес} E K_{кл}}, \quad (1)$$

где h – высота уступа, м; $n_{дн}$ – число рабочих дней экскаватора в месяц; $Q_{э.мес}$ – средняя производительность экскаватора в месяц, тыс. м³/м³·мес (установлена по зависимости на рис. 1); $K_{кл}$ – коэффициент, учитывающий влияние климата на производительность экскаваторов в разные месяцы года.

Для экскаваторов с электрическим приводом значение коэффициента $K_{кл}$ в период май–сентябрь составляет 1,05–1,10, в апреле и октябре – 1,0, в ноябре–марте – 0,90–0,95. Для гидравлических экскаваторов в период ноябрь–март значение $K_{кл}$ принято 0,8–0,9. Результаты расчетов по формуле (1) приведены в таблице.

Полученные результаты позволяют оперативно определять объемы и размеры экскаваторных блоков в рабочей зоне и могут быть использованы для сезонного регулирования режима горных работ и управления производственной мощностью карьеров Севера.

При этом концентрация горного оборудования и интенсивность горных работ повышается при уменьшении длины блока панели и ширины рабочей площадки, увеличении типоразмеров и производительности оборудования.

Обеспеченность экскаваторов карьера «Восточный» взорванной горной массой

Модель экскаватора	Обеспеченность взорванной горной массой, сут, при длине блока панели, м*											
	300			400			500			600		
	май- сентябрь	апрель, октябрь	ноябрь- март	май- сентябрь	апрель, октябрь	ноябрь- март	май- сентябрь	апрель, октябрь	ноябрь- март	май- сентябрь	апрель, октябрь	ноябрь- март
	<i>Комплексы с электрическими экскаваторами и уступами высотой 10 м</i>											
ЭКГ-10, E = 10 м ³	26-28	28-29	29-32	28-29	29-30	30-34	30-32	32-33	33-37	32-34	34-35	35-40
ЭКГ-18, E = 18 м ³	16-17	17-18	18-20	17-18	18-19	19-21	19-20	20-21	21-23	20-21	21-22	22-25
WK-20, E = 20 м ³	14-15	15-16	16-17	15-16	16-17	17-18	16-17	17-18	18-20	17-18	18-19	19-22
	<i>Комплексы с гидравлическими экскаваторами и уступами высотой 10 м</i>											
РС2000, E = 11 м ³	20-22	23-24	24-29	23-24	24-25	25-29	25-26	26-27	27-30	27-28	28-29	29-33
РС3000, E = 15 м ³	15-16	17-18	18-22	17-18	18-19	19-22	18-19	19-20	20-23	20-21	21-22	22-25
	<i>Комплексы с электрическими экскаваторами и уступами высотой 15 м</i>											
ЭКГ-18, E = 18 м ³	25-26	26-27	27-30	26-28	28-29	29-32	28-30	30-31	31-35	30-32	32-33	33-38
WK-20, E = 20 м ³	21-22	22-23	23-26	22-24	24-25	25-28	24-26	26-27	27-30	26-28	28-29	29-32
ЭКГ-32, E = 32 м ³	14-15	15-16	16-18	15-16	16-17	17-19	16-17	17-18	18-20	18-19	19-20	20-22
WK-35, E = 35 м ³	13-14	14-15	15-16	14-15	15-16	16-17	15-16	16-17	17-19	16-17	17-18	18-20
	<i>Комплексы с гидравлическими экскаваторами и уступами высотой 15 м</i>											
РС5500, E = 28 м ³	13-14	14-15	16-17	14-15	15-16	16-18	15-16	16-17	17-19	17-18	18-19	19-21

* Приведенные данные соответствуют минимальной ширине рабочей площадки.

Вместе с тем необходимо учитывать, что повышение концентрации горного оборудования в рабочей зоне является временной мерой и в благоприятный период оно должно быть компенсировано. Постоянное уменьшение рабочих площадок может привести к тому, что площади для размещения оборудования будет недостаточно. В таких условиях технология горных работ будет небезопасна.

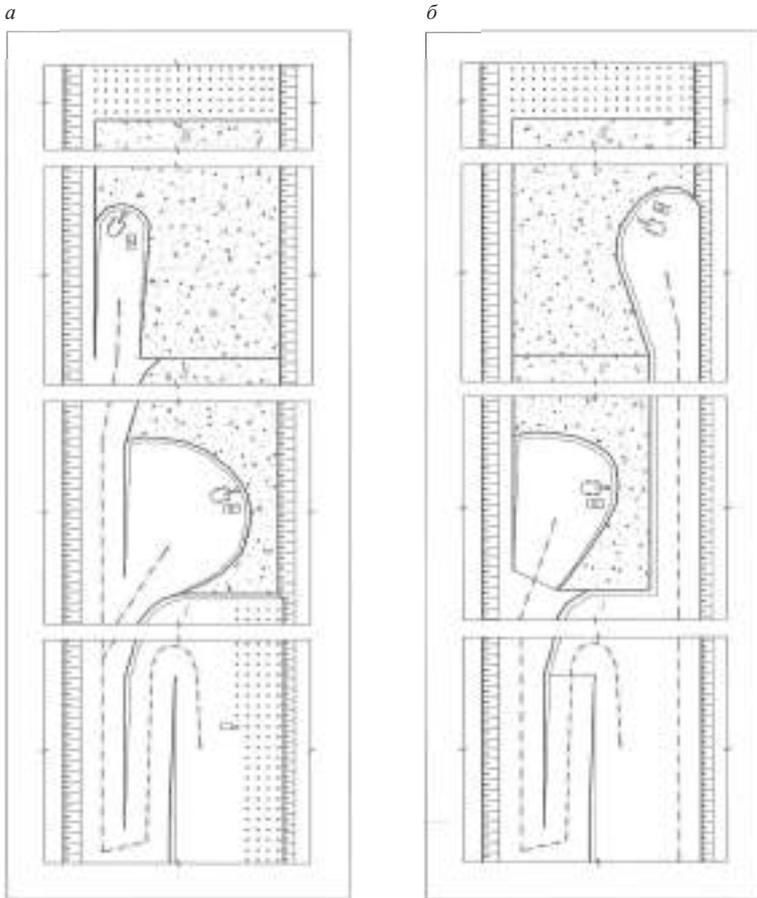


Рис. 2. Схемы ведения горных работ:

a – с односторонним вскрытием экскаваторных блоков скользящими съездами в весенний и осенний периоды; *б* – с двухсторонним вскрытием в зимний период

Исходя из этого предложены технологические схемы сезонного производства горных работ (рис. 2, 3).

Согласно схемам на рис. 3, фронт работ делят на экскаваторные блоки установленной длины, а транспортную связь осуществляют системой скользящих съездов. Причем на первоначальных этапах используют часть площади предохранительной бермы. Экскаватор, пройдя съезд, формирует полукотлован и разрабатывает блок, а его выход происходит обратным ходом. В рассматриваемых условиях схема, показанная на рис. 2, *a*, наиболее эффективна в осенний и весенний периоды. При необходимости увеличения интенсивности разработки в зимнее время возможна схема, предложенная на рис. 2, *б*, когда транспортные съезды дополнительно формируют со стороны выработанного пространства.

Существенно изменять интенсивность ведения горных работ в рассматриваемых условиях можно также по схемам, приведенным на рис. 3. По ним в наиболее неблагоприятные периоды года следует осуществлять переход от традицион-

ной последовательной технологии (рис. 3, а) к последовательно-параллельной (рис. 3, б). Это позволит даже при минимальных размерах рабочих площадок оборудования уменьшить активную ширину рабочей площади на горизонте почти в два раза.

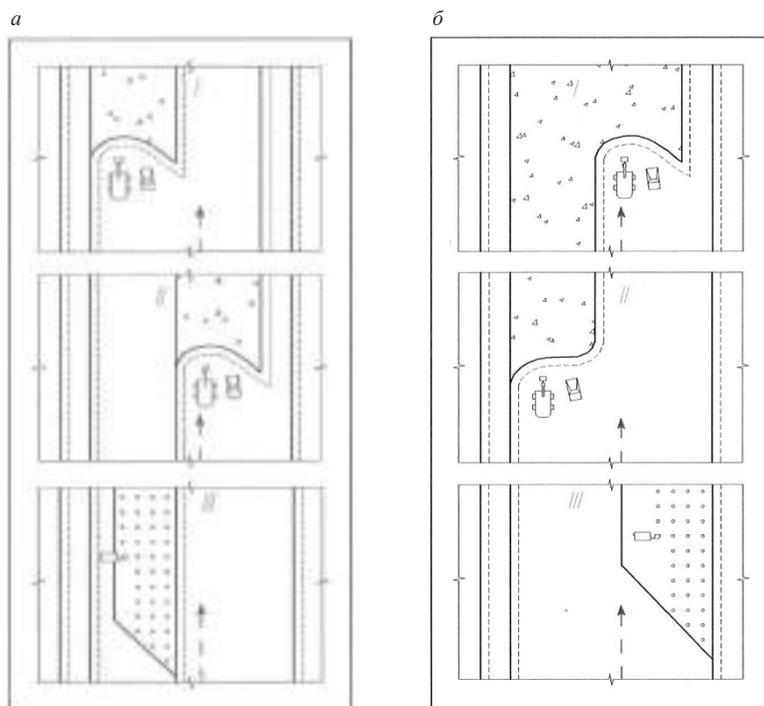


Рис. 3. Схемы ведения горных работ:

а – с последовательной разработкой экскаваторных блоков в летний период;
б – с последовательно-параллельной разработкой в зимний период

Предложенные схемы дополняют имеющиеся подходы для выбора технологических комплексов карьеров на рудных месторождениях в суровых климатических условиях, позволяют управлять производственной программой горнодобывающих предприятий и могут быть использованы при их проектировании. При этом окончательное решение должно приниматься на основе оценки взаимовлияния природных, технических и технологических составляющих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / К. Н. Трубецкой [и др.] М.: МГГУ, 1994. 418 с.
3. Ржевский В. В. Открытые горные работы. Ч. 2. Технология и комплексная механизация. М.: Libroком, 2010. 551 с.
4. Ракишев Б. Р. Рабочая зона карьера и ее параметры // Горный журнал. 2003. № 3. С. 17–21.
5. Ракишев Б. Р. Технологические комплексы открытых горных работ. Алматы: КазНТУ, 2015. 313 с.
6. Гавришев С. Е., Бурмистров К. В., Колонюк А. А. Интенсивность формирования рабочей зоны глубоких карьеров: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2013. 189 с.
7. Арсентьев А. И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. М.: Недра, 1981. 278 с.
8. Арсентьев А. И. Законы формирования рабочей зоны карьера. Л.: ЛГИ, 1986. 54 с.
9. Косолапов А. И., Малофеев Д. Е., Кузнецов Д. В. Исследование сезонной динамики производительности горнотранспортного оборудования при открытой разработке месторождений в суровых климатических условиях // ГИАБ. 2015. № 1. С. 17–22.

THE STUDY OF MINING EQUIPMENT CONCENTRATION DYNAMICS IN CONDITIONS OF DEEP OPEN PITS OF THE NORTH

Kuznetsov D. V. – OOO Polius Proekt, Krasnoyarsk, the Russian Federation. E-mail: KuznetsovDV@mail.ru

Kosolapov A. I. – Siberian Federal University, Krasnoyarsk, the Russian Federation. E-mail: Kosolapov1953@mail.ru

The article introduces the results of the study of mining equipment concentration dynamics to select the rational variant of technological complex of an open pit in severe weather conditions of the North. Peculiarities of open pit development technology are revealed under step-by-step development of mining operations, temporary abandonment of edges and working benches. For the conditions of open pit "Vostochny" on the development of Olimpiada gold mine, the technology of mining is considered together with hardware for its execution. The dependence is established, which makes it possible to determine specific capacity of excavating complexes under various panel block length. With this account the required supply of blasted rock mass is calculated for the existing and prospective models of excavating machines. The schemes of seasonal production of works are suggested, mutual influence of natural, technical, and technological constituents is revealed, which makes it possible to effectively manage the productive capacity of open pits at ore deposits in severe weather conditions.

Key words: severe weather conditions; technological complexes of an open pit; open pit operational zone; mining equipment concentration; panel block length; working platform width; bench height; blasted rock mass reserve.

REFERENCES

1. Kuznetsov D. V. *Obosnovanie tekhnologicheskikh kompleksov gornotransportnogo oborudovaniia dlia otkrytoi razrabotki rudnykh mestorozhdenii v surovyykh klimaticheskikh usloviakh: dis. ... kand. tekhn. nauk* [The substantiation of technological complexes of mining and conveyor equipment for opencast mining of ore deposits in severe weather conditions. Cand. eng. sci. diss.]. Krasnoyarsk, 2015. 150 p.
2. Trubetskoi K. N., and others. *Gornye nauki. Osvoenie i sokhranenie neдр Zemli* [Mining sciences. The Earth bowels exploitation and protection]. Moscow, MSMU Publ., 1994. 418 p.
3. Rzhhevskii V. V. *Otkrytye gornye raboty. Ch. 2. Tekhnologiia i kompleksnaia mekhanizatsiia* [Opencast mining. Part 2. Technology and integrated mechanization]. Moscow, Librokom Publ., 2010. 551 p.
4. Rakishev B. R. [Open pit operational zone and its parameters]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2003, no. 3, pp. 17–21. (In Russ.)
5. Rakishev B. R. *Tekhnologicheskie komplekсы otkrytykh gornykh rabot* [Technological complexes of opencast mining]. Almaty, KazNRTU Publ., 2015. 313 p.
6. Gavrishev S. E., Burmistrov K. V., Koloniuk A. A. *Intensivnost' formirovaniia rabochei zony glubokikh kar'erov: monografiia* [Monograph "Deep open pits operational zone formation intensity"]. Magnitogorsk, MSTU Publ., 2013. 189 p.
7. Arsent'ev A. I. *Vskrytie i sistemy razrabotki kar'ermykh polei* [Stripping and the systems of quarry fields development]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 278 p.
8. Arsent'ev A. I. *Zakony formirovaniia rabochei zony kar'era* [The laws of formation for open pit operational zone]. Leningrad, LGI Publ., 1986. 54 p.
9. Kosolapov A. I., Malofeev D. E., Kuznetsov D. V. [Investigation of seasonal dynamics of mining and conveyor equipment capacity under opencast development of deposits in severe weather conditions]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, no. 1, pp. 17–22. (In Russ.)