УДК
622.232.8

Д.В. Кузнецов, Д.Г. Одаев, Я.Е. Линьков

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АВТОТРАНСПОРТА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ СЕВЕРА

Представлены особенности обоснования современного автотранспорта для разработки глубоких карьеров в суровых климатических условиях Севера. Выделены основные тенденции совершенствования карьерных автосамосвалов. Предложена система критериев для выбора их конкурентных предложений с учетом структуры комплексов горного оборудования, а также методические подходы к обоснованию рациональных условий эксплуатации. На примере золоторудного карьера «Восточный» показано, как практически при заданных природных условиях и параметрах оборудования можно определить технологию и комплексную механизацию открытых горных работ с наибольшей экономической эффективностью. Рассмотрена взаимосвязь транспортных машин с производительностью экскаваторов и буровых станков. Перечислены основные преимущества и недостатки троллейных систем. Представлены результаты технико-экономического сравнения дизельных и дизель-троллейвозных самосвалов для продолжения открытой разработки Олимпиадинского месторождения.

Ключевые слова: суровые климатические условия, комплексы горно-транспортного оборудования, экскаваторы, автосамосвалы на жесткой раме, шарнирно-сочлененные автосамосвалы, дизель-троллейвозы, производственная мощность карьера, глубина карьера.

За последние десятилетия автомобильный транспорт стал основным технологическим транспортом при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. В России его доля среди других видов в настоящее время превышает 75%. В США, Канаде, Южной Америке составляет около 85%, а в Австралии почти равна 100% [1]. Такое широкомасштабное применение связано с техническим совершенствованием машин и повышением экстремальности условий их эксплуатации, обусловленной природно-технологическими особенностями.

Обзор мирового рынка карьерных автосамосвалов позволил выделить более 30 фирм производителей с количеством моделей от единиц до нескольких десятков. Причем, наряду с уве-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 5. С. 54–65.
© 2017. Д.В. Кузнецов, Д.Г. Одаев, Я.Е. Линьков.

личением технической надежности и срока службы, грузоподъемность данных машин варьирует от 30 до 450 т, энерговооруженность (отношение мощности двигателя к массе груженого самосвала) с ростом грузоподъемности уменьшается с 6,9 до 3,7 кВт/т, удельная материалоемкость (отношение массы порожнего самосвала к мощности двигателя) изменяется в пределах от 54,4 до 122,0 кг/кВт [2].

Анализ развития открытых горных работ на рудных месторождениях в России свидетельствует о постоянном их смещении в удаленные северные территории, где колебания температуры воздуха достигают от +45 °С (в июле) до -60 °С (в декабре-январе), зима длинная с большим количеством снегопадов и метелей, а лето короткое с ливнями. При этом глубина карьеров, разрабатывающих месторождения в подобных условиях достигла 500–600 м и непрерывно растет, причем при высокой интенсивности наращивания производственной мощности [3]. Достижимо это во многом за счет ограниченной продолжительности разработки отельных этапов крупных месторождений, возможности ускоренного ввода новых автосамосвалов для ликвидации диспропорции между отдельными производственными процессами. Кроме того, автомобильный транспорт на данных карьерах предопределяет возможные направления развития горных работ. От него зависят способ вскрытия и параметры вскрывающих выработок, параметры системы разработки, режим и календарный график горных работ.

Вместе с тем, практика показывает, что на каждые 100 м понижения горных работ себестоимость транспортирования самосвалами возрастает на 20–30%. Экологическая обстановка в карьере ухудшается. А неверно обоснованные параметры транспортных коммуникаций могут увеличить объемы вскрышных работ на несколько десятков миллионов кубометров.

В этой связи задача выбора рационального варианта карьерного транспорта и планомерного формирования структуры комплексной механизации для карьеров Севера, в целом, является весьма актуальной.

Для ее достижения на примере карьера «Восточный» Олимпиадинского месторождения выполнены научно-практические исследования. В настоящей статье представлены полученные результаты и реализованные подходы.

Причем исходили из того, что тип транспортных машин увязывается с производительностью экскаваторов, с емкостью их ковша, существенно зависит от глубины карьера и расстояния

транспортирования. А в условиях любого карьера возможно рациональное сочетание оборудования, которое можно определить методом сравнения вариантов [4, 5].

С учетом этого, для продолжения открытых горных работ на месторождении было оценено более тысячи вариантов технологических комплексов, состоящих из буровых станков, экскаваторов, автосамосвалов и бульдозеров. Установленные области рационального применения различных автосамосвалов при этом проиллюстрированы на рис. 1.

Здесь, при увеличении сырьевой базы, границы и глубина разработки последующей IV очереди карьера определены с учетом существующего рабочего пространства и возможности прирезки запасов перспективным горнотранспортным оборудованием. Так, они ограничены размерами рабочих площадок для расконсервации временно-нерабочего борта, а также шириной и уклонами карьерных автодорог.

Минимальная ширина площадки равна 40 м и определена исходя из условий работы экскаватора ЭКГ-20К или его аналогов под высокими уступами с тупиковой схемой подачи транспорта под погрузку. Ширина внутрикарьерных автодорог в зависимости от конструктивных и технических особенностей самосвалов составляет от 25 до 46 м при уклонах от 80 до 170 промилле. При этом в рудной части прирезаемой IV очереди карьера выделены дополнительные этапы, разработку которых ведут с применением шарнирно-сочлененных автосамосвалов CAT 740 грузоподъемностью 38 т. Сводные показатели

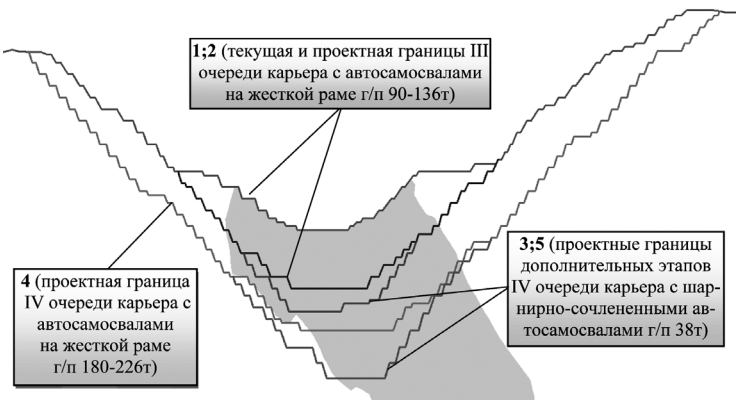


Рис. 1. Динамика применения автосамосвалов по мере увеличения глубины открытых горных работ в условиях Олимпиадинского месторождения: 1 – 450 м; 2 – 600 м; 3 – 660 м; 4 – 710 м; 5 – 830 м

Таблица 1

Показатели технологии и комплексной механизации открытых горных работ

№ варианта	Характеристики горно-транспортных комплексов			Характеристики карьеров			
	диаметр бурения станков, мм	емкость ковша экскаватора, м^3	грузоподъемность автосамосвала, т	максимальная глубина, м	максимальная годовая производительность по горной массе, млн м^3	годовая производственная мощность по руде, млн т	средний коэффициент вскрыши, м^3/т
III очередь карьера							
1	216–250	10	90–136	600	30	8	3,6
IV очередь карьера							
2	250–311	18–35	180–226	710	47	11,5	2,4
3	250–311	18–35; 5–10	180–226; 38	710	42	11,5	2,4
4	250–311	18–35; 5–10	180–226; 38	830	42	11,5	2,1

по оцененным вариантам технологии и комплексной механизации открытых горных работ приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 подтверждают имеющиеся выводы о том, что границы карьерного пространства, производительность карьеров и эффективность разработки месторождений в целом, напрямую зависят от варианта технологического комплекса горнотранспортного оборудования. Современные комплексы на базе экскаваторов с вместимостью ковша 18–35 м^3 в обоснованных границах IV очереди карьера позволяют увеличить годовую производственную мощность по руде на 3,5 млн т. Шарнирно-сочлененные автосамосвалы CAT-740 или их аналоги обеспечивают возможность разработки дополнительных горнотехнических этапов с системой крутонаклонных съездов. Это сокращает пиковые объемы вскрышных работ на 5 млн м^3/год и позволяет почти на 2 года продлить срок разработки карьера с меньшим коэффициентом вскрыши (в варианте 4 при доработке таким этапом месторождения).

В качестве показателей, оценивающих влияние комплексов горнотранспортного оборудования на технико-экономическую эффективность разработки карьера, использовали:

- аннуитет суммарных дисконтированных затрат (*СДЗ*) на бурение и экскавацию (A_1);
- аннуитет *СДЗ* на транспортирование (A_2).

При этом:

$$A_1 = \frac{СДЗ_1}{Q} = \frac{\sum_{t=1}^{T}(K_{1t} + C_{1t} - AO_{1t} - Д_{1t}) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}}{Q} \Rightarrow \min, \text{ руб/м}^3, \quad (1)$$

где $СДЗ_1$ – суммарные дисконтированные затраты на приобретение и эксплуатацию буровых станков и экскаваторов в условиях IV очереди базового варианта карьера, руб; Q – объем горной массы в контуре IV очереди базового варианта карьера, м^3; T – период оценки, лет; t – расчетный год, K_t – инвестиции в t-ом году, руб.; C_t – текущие эксплуатационные затраты в t-ом году, руб.; AO_t – годовая сумма амортизационных отчислений в t-ом году, руб.; $Д_t$ – остаточная стоимость оборудования, руб.; E – норма дисконта, принята равной 12%.

$$A_2 = \frac{СДЗ_{2i} + СДЗ_{3i}}{Q} =$$

$$= \frac{\left(\sum_{t=1}^{T}(K_{2t} + C_{2t} - AO_{2t} - Д_{2t}) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}\right) +}{Q}$$

$$\frac{+\left(\sum_{t=1}^{T}(K_{3t} + C_{3t} - AO_{3t} - Д_{3t}) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}\right)}{Q} \Rightarrow \min, \text{ руб/м}^3, \quad (2)$$

где $СДЗ_{2i}$ – суммарные дисконтированные затраты на приобретение и эксплуатацию автосамосвалов в условиях IV очереди i-го варианта карьера с i-ой шириной автодорог; $СДЗ_{3i}$ – суммарные дисконтированные затраты на приобретение и эксплуатацию буровых станков, экскаваторов и бульдозеров для выполнения дополнительного объема вскрышных работ, обусловленных увеличением i-ой ширины автодорог, руб.

С учетом этого, ранжирование общих аннуитетов буровых и экскаваторно-автомобильных комплексов (A) для любого их сочетания выполняли по формуле:

$$A = A_1 + A_2 \Rightarrow \min \text{ , руб/м}^3 \quad (3)$$

Следует отметить, что в качестве базового был принят второй вариант карьера (см. табл. 1) до глубины 710 м с минимальной шириной автодорог равной 40,5 м соответствующей автосамосвалу БелАЗ 7518 грузоподъемностью 180 т.

Всего по формуле (1) оценено 110 конкурентных сочетаний, состоящих из буровых станков СБШ-250МНА-32, СБШ-250/

270-60КП, СБШ-250/311-18, Atlas Copco PV-275, Atlas Copco PV-351, Atlas Copco DM-M3, P&H 320 XPC, CAT MD 6540, CAT MD 6640 с диаметром бурения 250–311 мм и экскаваторов ЭКГ-18Р(20К), ЭКГ-32Р(35К), P&H 2300 XPC, P&H 2800 XPC, CAT 7295, CAT 7395, WK-35, Komatsu PC 5500, Komatsu PC 5500E, Komatsu PC 8000, Komatsu PC 8000E с вместимостью ковша 18–35 м^3.

В результате установлено, что наименее затратными являются комплексы с отечественными электрическими экскаваторами ЭКГ-32Р(35К), ЭКГ-18Р(20К) и буровыми станками СБШ-250/270-60 КП при бурении взрывных скважин диаметром 270 мм. Комплексы с электрическими экскаваторами импортного производства менее эффективны в связи с высокой первоначальной ценой. Гидравлические машины более затратные, характеризуются низкой технической надежностью и имеют малый срок службы. Их использование оправдано при энергодефиците, при сезонной эксплуатации, а также в условиях, требующих повышенной мобильности.

Для выбранных экскаваторов и буровых станков по формуле (2) обоснован оптимальный автосамосвал. Сводные показатели данного планирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние габаритной ширины автосамосвалов на ширину внутрикарьерных автодорог, горную массу и транспортную работу

Модель автосамосвала	Грузоподъемность автосамосвала, т	Ширина автосамосвала, м	Ширина автодорог, м	Относительная горная масса	Относительная транспортная работа
БелАЗ 7518	180	7,35 (min)	40,5 (min)	min	min
CAT 789D	180	7,64	41,5	+1,9%	+1,3%
CAT 793D	218	7,68	41,5	+1,9%	+1,3%
Komatsu 830E	231	7,95	42,5	+4,1%	+4,5%
БелАЗ 7530	220	7,88	42,5	+4,1%	+4,5%
Komatsu 730E	186	8,05	43,0	+5,1%	+5,2%
CAT 793F	226	8,30	44,0	+6,9%	+6,9%
Hitachi EH 3500 ACIII	181	8,58	45,0	+9,0%	+8,5%
CAT MT4400D AC	220	8,65	45,0	+9,0%	+8,5%
Hitachi EH 4000 ACII	222	9,00	46,0	+10,9%	+10,1%

Ранжирование автосамосвалов в табл. 2 выполнено по относительным значениям горной массы (ΔQ) и транспортной работы (ΔTP), которые рассчитаны по формулам:

$$\Delta Q = (\frac{Q_i}{Q} - 1) \cdot 100, \%; \quad (4)$$

$$\Delta TP = (\frac{TP_i}{TP} - 1) \cdot 100, \%, \quad (5)$$

где Q_i – объем горной массы в контуре IV очереди i-го варианта карьера с i-ой шириной автодорог, м^3; TP_i – транспортная работа, соответствующая i-му варианту карьера с i-ой шириной автодорог, т · км; TP – транспортная работа, соответствующая базовому варианту карьера с минимальной шириной автодорог, т · км.

Всего к сравнению принято 10 конкурентных моделей. С учетом их ширины смоделировано 7 карьеров с различной шириной автодорог. По каждому составлен календарный график разработки и график закупки оборудования. При этом потребное количество машин и транспортная работа рассчитаны с учетом установленных ранее зависимостей для прогнозирования скорости движения машин в рассматриваемых условиях [6].

Результаты расчета аннуитета суммарных дисконтированных затрат на транспортирование по формуле (2) представлены на рис. 2. Их анализ показывает, что наименьшее значение ан-

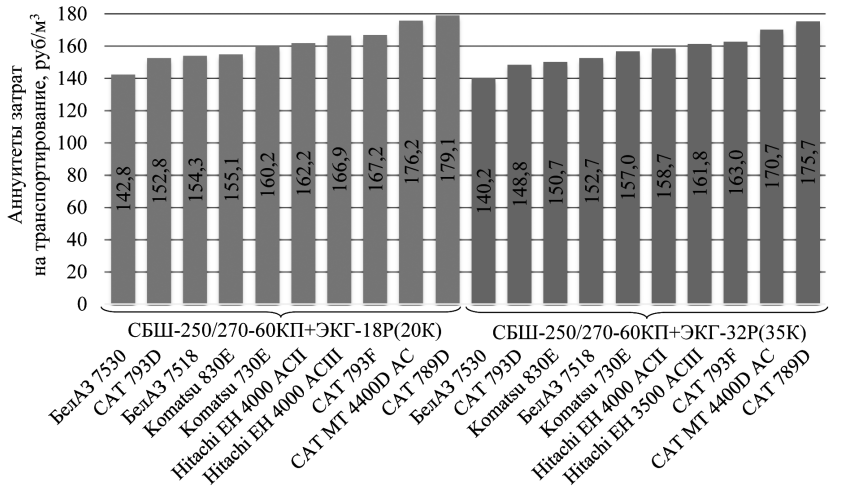


Рис. 2. Аннуитеты суммарных дисконтированных затрат на транспортирование по вариантам комплексов оборудования

нуитетов приходится на комплексы с автосамосвалами БелАЗ 7530 грузоподъемностью 220 т. Обусловлено это, в первую очередь, меньшей ценой (порядка 30–40% в сравнении с автосамосвалами CAT 793D этого же типоразмера).

Эффективность применения шарнирно-сочлененных автосамосвалов в третьем и четвертом вариантах разработки карьера (см. табл. 1) определяли по величине чистого дисконтированного дохода (ЧДД):

$$ЧДД = \sum_{t=1}^{T} (R_t - З_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \text{ руб.}, \qquad (6)$$

где R_t – доходы в t-ом году, руб.; $З_t$ – затраты в t-ом году, руб.

При этом стоит отметить, что эксплуатацию шарнирно-сочлененных автосамосвалов рассматривали в комплексе с существующими в настоящее время на карьере экскаваторами ЭКГ-10, Komatsu PC 1250 и буровыми станками СБШ-250.

Выполненные расчеты показали, что в сравнении с базовым вторым вариантом значение ЧДД в третьем и четвертом возрастает на 10 и 39% соответственно. Причем в третьем варианте прирост ЧДД обусловлен переносом на первоначальный период развития IV очереди более 12 млн т руды и параллельным сокращением пиковых годовых объемов вскрыши до 10%. В четвертом же варианте дополнительным продлением срока открытой разработки месторождения на 2 года с минимальным коэффициентом вскрыши.

Учитывая увеличение энергоемкости транспортного процесса и ухудшение экологической ситуации при продолжении разработки карьера «Восточный», дополнительно оценивали эффективность применения дизель-троллейвозов. В результате анализа опыта эксплуатации этого автотранспорта было установлено, что в настоящее время он наиболее распространен в условиях жаркого климата. На горнодобывающих предприятиях Люмвана (Замбия), Гекамин (Конго), Рессинг (Намибия), Палабора (ЮАР) и др. количество дизель-электрических автосамосвалов для перевозки горной массы колеблется от 11 до 80 ед. При этом протяженность электрических линий составляет от 3,5 до 8,5 км.

Известно, что основными преимуществами автосамосвалов с комбинированными троллейными системами в сравнении с серийными дизельными машинами являются большая производительность (в среднем на 10–20%), вследствие увеличенной скорости движения на подъем, и меньший расход затратного дизельного топлива (около 70–80%). Кроме того, они имеют

больший ресурс дизельного двигателя, обеспечивают снижение уровня шума и выхлопа отработанных газов и тем самым минимизируют неблагоприятное влияние на окружающую среду.

Вместе с тем, дизель-троллейвозы из-за дополнительного троллейного оборудования на 10–15% имеют большую стоимость. Их применение требует дополнительных затрат на создание и поддержание разветвленной контактной сети. Автодорога для безопасной эксплуатации дизель-троллейвозов характеризуется повышенными требованиями к конструкции и качеству дорожного покрытия и увеличенной шириной [7, 8].

С учетом этого, установленные выше как наименее затратные, дизельные автосамосвалы БелАЗ 7530 (рис. 2) были сопоставлены с их дизель-электрическими аналогами. Для каждого типа автосамосвалов, учитывая требования нормативной базы [9, 10], смоделировали варианты карьеров, составили календарные планы развития горных работ при неизменном графике добычи руды и рассчитали суммарные дисконтированные затраты (СДЗ):

$$СДЗ = \sum_{t=1}^{T} (K_t + C_t - АО_t - Д_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \qquad (7)$$

Результаты расчетов по формуле (7) и основные технико-экономические показатели по вариантам транспортирования представлены в табл. 3.

Анализ данных табл. 2 свидетельствует, что дизель-троллейвозный транспорт недостаточно эффективен вследствие необходимости расширения карьерных автодорог и выполнения дополнительных объемов вскрышных работ, а также инвестиций в электрическое оборудование и коммуникации. Вместе с тем, численные исследования показали, что при неизменных параметрах капитальных выработок и возможном увеличении доли расстояния транспортирования на троллейном приводе до 30–40% окупаемость перевозки дизель-троллейвозами для условий рассматриваемого месторождения имеет место.

С учетом ранее выполненных исследований по обоснованию конвейерных систем в подобных условиях [11] можно заключить, что основным видом карьерного транспорта для открытой разработки рудных месторождений Севера является автомобильный с дизельным приводом. Применение альтернативных видов транспорта не эффективно в связи с низкой температурой воздуха, большой глубиной горных работ и высокой первоначальной стоимостью, которая за время существования карьеров не окупаема. Выбор типоразмера и модели автосамосвала

Таблица 3

Основные ТЭП сравнения вариантов транспортирования дизельными и дизель-троллейвозными самосвалами

Показатели	Единицы измерения	БелАЗ 7530 (дизельный)	БелАЗ 7530 (дизель-троллейвозный)
Ширина автодороги	м	42,5	48,5
Годовой объем транспортирования	млн $м^3$	44,0	45,0
Расстояние транспортирования	км	7,1	7,1
в т.ч. на электрическом приводе	км	–	4,1
на дизельном приводе	км	7,1	3,0
Транспортная работа	млн ткм	902,5	923,0
в т.ч. на электрическом приводе	млн ткм	–	533,1
на дизельном приводе	млн ткм	902,5	389,9
Потребное количество автосамосвалов	ед	87	74
Цена автосамосвала	млн руб	157,7	173,5
Стоимость инфраструктуры карьера (подстанции, троллейные линии)	млн руб/км	–	62,0
Капитальные вложения	млн руб	13 719	15 585
Эксплуатационные затраты	млн руб	34 752	41 334
Остаточная стоимость автосамосвалов	млн руб	6670	6158
Суммарные дисконтированные затраты	млн руб	29 205	34 373

существенно зависит от экскаватора и бурового станка, влияет на производственную мощность, границы и параметры карьера. На стадии доработки глубоких карьеров или их промежуточных этапов рационален переход на модели горнотранспортного оборудования меньшей мощности, позволяющие сократить и перераспределить во времени объемы вскрышных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анистратов К. Ю.* Разработка метода формирования структуры комплексной механизации горных работ на карьерах: дис. ... докт. техн. наук. – Аппатиты, 2013. – 348 с.

2. *Market* Analysis and Forecast Loading & Haulage Equipment. The Parrker Bay Company, December, 2015. – 129 P.

3. *Кузнецов Д., Косолапов А., Малофеев Д.* Комплексы оборудования для карьеров в суровых климатических условиях. Монография. –

Saarbrucken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, KG, 2016. – 135 p.

4. *Ржевский В.В.* Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация. – М.: Либроком, 2010. – 552 с.

5. *Яковлев В.Л.* Транспорт глубоких карьеров. Состояние, проблемы, перспективы // Горное дело. – 2013. – № 1. – С. 11–18.

6. *Косолапов А.И.*, *Малофеев Д.Е.*, *Кузнецов Д.В.*, *Одаев Д.Г. и др.* Обоснование скорости движения автосамосвалов для расчета их парка при календарном планировании // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сборник материалов 9-й Международной научно-технической конференции. – Красноярск, 2011. – С. 229–232.

7. *Степук О.Г.*, *Зуенок А.С.* Дизель-троллейвозный транспорт БелАЗ: перспективы использования в горном производстве // Горный журнал. – 2013. – № 1. – С. 52–55.

8. *Яковлев В.Л.*, *Тарасов П.И.*, *Журавлев А.Г.* Новые специализированные виды транспорта для горных работ. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 375 с.

9. *СНиП 2.05.07-91* Промышленный транспорт. Строительные нормы и правила. – М.: Госстрой РФ, 1991.

10. *СП 37.13330.2012* Промышленный транспорт. Свод правил. – М.: Минрегион России, 2012.

11. *Кузнецов Д.В.*, *Малофеев Д.Е.*, *Косолапов А.И.* Особенности обоснования технологических комплексов горнотранспортного оборудования для глубоких карьеров Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 12. – С. 124–130. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Дмитрий Владимирович[1] – кандидат технических наук, ведущий инженер, e-mail: KuznetsovDV@mail.ru,
Одаев Денис Геннадьевич – старший менеджер, ООО «УК Полюс»,
Линьков Ярослав Евгеньевич[1] – инженер,
[1] ООО «Полюс Проект» 660028, г. Красноярск.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 5, pp. 54–65.

UDC 622.232.8

D.V. Kuznetsov, D.G. Odaev, Ya.E. Linkov

PECULIARITIES OF TECHNOLOGICAL MOTOR TRANSPORT SELECTION USED FOR DEEP NORTH OPEN PITS OPERATION

Modern motor transport explanation peculiarities for deep pits operation in the severe climatic conditions of the North are presented. As a result of mining and transport equipment market survey and analysis of open pit mining development in the ore deposits, the main updating tendencies of pit dump trucks are highlighted. On the basis of scientific and practical research a frame of reference for selection of their competitive proposals, taking into account the mining equipment complexes structure, as well as methodological approaches to efficient operation conditions explanation. On the example of the largest gold open cast 'Vostochny' in Russia it is shown how virtually at given environmental conditions and parameters of the

equipment the technology and complex mechanization of open pit mining operations can be determined with the greatest economic efficiency. Meanwhile a correlation between transport vehicles and excavators productivity and drilling rigs is considered. It has been stated that the increase in open cast production capacity determines the growth of the excavator bucket capacity, the diameter of the drill bit and consequently the dump truck cargo capacity, and at the working phase of deep pits or their interim stages it is efficient to switch to equipment systems of lower power capacity with articulated dump trucks that allow to reduce and redistribute in time the volume of overburden mining. Taking into consideration transport process energy capacity and environmental degradation with the growth of open pits mining depth, the experience of the use of diesel-trolley cars has been analyzed. The main advantages and disadvantages of trolley systems have been enumerated. The results of the diesel and diesel-trolley dump trucks trade-off study are presented to continue the open cast mining of the Olimpiadinskoe deposit.

Key words: severe climatic conditions, mining equipment systems, dump trucks, articulated trucks, diesel trolley trucks, the production capacity of the pit, the depth of the pit.

AUTHORS

Kuznetsov D.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer,
e-mail: KuznetsovDV@mail.ru,
Odaev D.G., Senior Manager, LLC «UK Polyus»,
Linkov Ya.E.[1], Engineer,
[1] Ltd. «Polyus Project», 660028, Krasnoyarsk, Russia.

REFERENCES

1. Anistratov K. Yu. *Razrabotka metoda formirovaniya struktury kompleksnoy mekhanizatsii gornykh rabot na kar'erakh* (Development of open pits mining operations complex mechanization structuring method), Doctor's thesis, Apatity, 2013, 348 p.

2. *Market Analysis and Forecast Loading & Haulage Equipment*. The Parrker Bay Company, December, 2015, 129 p.

3. Kuznetsov D., Kosolapov A., Malofeev D. *Kompleksy oborudovaniya dlya kar'erov v surovykh klimaticheskikh usloviyakh*. Monografiya (Complexes of equipment for open pits in severe climatic conditions. Monograph), Saarbrucken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, KG, 2016. 135 p.

4. *Rzhevskiy V.V.* Otkrytye gornye raboty. Tekhnologiya i kompleksnaya mekhanizatsiya (Open pit mining. Technology and complex mechanization), Moscow, Librokom, 2010, 552 p.

5. Yakovlev V. L. *Gornoe delo*. 2013, no 1, pp. 11–18.

6. Kosolapov A. I., Malofeev D. E., Kuznetsov D. V., Odaev D. G. *Sovremennye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov*: sbornik materialov 9-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Modern technologies of mineral resources exploration:. Digest of the 9th International scientific and engineering conference), Красноярск, 2011, pp. 229–232.

7. Stepuk O. G., Zuenok A. S. *Gornyy zhurnal*. 2013, no 1, pp. 52–55.

8. Yakovlev V. L., Tarasov P. I., Zhuravlev A. G. *Novye spetsializirovannye vidy transporta dlya gornykh rabot* (New specialized means of transport for mining), Ekaterinburg, UrO RAN, 2011, 375 p.

9. *Promyshlennyy transport. Stroitel'nye normy i pravila. SNiP 2.05.07-91* (Industrial transport. Construction rules and regulations. SNiP 2.05.07-91), Moscow, Gosstroy RF, 1991.

10. *Promyshlennyy transport. Svod pravil. SP 37.13330.2012* (Industrial transport. Code specification. SP 37.13330.2012), Moscow, Minregion Rossii, 2012.

11. Kuznetsov D. V., Malofeev D. E., Kosolapov A. I. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 12, pp. 124–130.