

ВЫБОР СБОРОЧНОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА СИСТЕМ ЦИКЛИЧНО-ПОТОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

А. Глебов^{1*}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Российская Федерация

*Ответственный автор: e-mail Glebov@igduran.ru, тел. +79521440444, факс: +73433502111

SELECTION OF GATHERING AUTOTRANSPORT FOR THE SYSTEMS OF CYCLICAL-AND-CONTINUOUS TECHNOLOGY

A. Glebov^{1*}

¹The Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

*Corresponding author: e-mail Glebov@igduran.ru, tel. +79521440444, fax: +73433502111

ABSTRACT

Purpose. Usage of technological gathering auto transport of the rational unit capacity and maximum level of consumer properties.

Methods. Optimization of gathering auto transport equipment parameters, as well as rational quantitative and qualitative ratio of transport units in cyclical and continuous technological systems is achieved on the basis of systemic approach.

Findings. Original techniques have been developed for selecting the model of a haul truck, formation of the truck fleet which will ensure the necessary scope of rock transportation at the admissible cost, determination of economically viable and technically safe lifetime of a haul truck. The research was focused on substantiation of technological schematics for transition to higher road inclinations with less production of overburden rock. The possible areas of using higher road grades have been established.

Originality. The author has developed a new methodological approach for determining the level of the haul truck consumer properties as the integral index which takes into account technical excellence of the truck design, efficiency of the maintenance system provided by the truck manufacturer during its life, the degree of its serviceability in mining and technical conditions of a specific quarry, and the possibility to reach high technical and economic results while quarrying.

Practical implications. The conducted research allowed to define the maximum grades for upward and downward transportation of the rock, maximum speed for empty and loaded running at inclination of 30% and less, rational safe parameters of runaway ramps (the width of the roadway and the haulage berm, carriageway shoulder, height of the restraining rock dike etc.). Technologies for building and maintenance of transport runaway ramps are substantiated. A set of measures has been developed for preventing emergencies while driving trucks along steep slopes, during face work, loading-unloading and towing operations in different weather conditions.

Keywords: cyclical and continuous technology, gathering auto transport, formation of truck fleet, elevated road grades

1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие автомобильно-конвейерного транспорта является одним из основных направлений технического перевооружения и интенсификации горных работ на горнодобывающих предприятиях. Он применяется преимущественно для транспортирования скальной горной массы при разработке полезных ископаемых открытым способом с использованием

циклично-поточной технологии (ЦПТ). Перегрузка рыхлых вскрышных пород с колесного транспорта на конвейеры производится в случае их разработки с использованием самоходного оборудования.

География использования автомобильно-конвейерного транспорта достаточно обширна, это карьеры США, Чили, Канады, Мексики, Австралии, Перу и других стран. В наиболее совершенном виде этот вид транспорта был развит в США, где с высо-

кими технико-экономическими показателями разрабатывались карьеры нагорного, глубинного и смешанного типов. Однако более часто этот вид комбинированного транспорта применяется на глубинных карьерах.

Переход на комбинирование, как правило, происходит с автомобильного транспорта, с использованием которого строился карьер. Целесообразным считается переход с глубины 60 – 150 м в зависимости от размеров карьера, характеристики горной массы, особенностей залегания полезного ископаемого, подготовленности карьерного пространства к строительству конвейерного подъемника и перегрузочного пункта. Период строительства карьеров с автомобильно-конвейерным транспортом и продолжительность их перехода на этот вид составляют в основном 1.5 – 2 года, а иногда достигают 3 – 4 года.

Применение автомобильно-конвейерного транспорта оказывает благоприятное влияние на технико-экономические показатели транспортирования горной массы на карьерах в сравнении с автомобильным транспортом. Использование комбинированного транспорта не только в определенной мере компенсирует ухудшающиеся горнотехнические условия с ростом глубины разработок, но и приводит к значительным экономическим преимуществам.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В северо-западном районе России комплексы ЦПТ внедрены на Ковдорском и Оленегорском ГОКах. На начальном этапе на Ковдорском ГОКе работали 27-тонные БелАЗ, дизель-электрические автосамосвалы БелАЗ-549 грузоподъемностью 75 т и

с 1983 года японские HD-1200 фирмы Komatsu грузоподъемностью 120 т. Одновременно с введением первой очереди ЦПТ в 1987 году на Ковдорском ГОКе началась замена автосамосвалов БелАЗ-549 на БелАЗ-7519 грузоподъемностью 110 т, так как достигнутая глубина карьера (более 350 м) не позволила эффективно эксплуатировать дизель-электрические машины. К 1995 году парк автосамосвалов насчитывал 20 единиц HD-1200 и 40 БелАЗ-7519 (Mariev & Anistratova, 2005). Постоянное обновление и изменение структуры парка позволили к 2001 году уменьшить количество машин до 43 и повысить объем перевозок до 54 млн т при средней грузоподъемности автосамосвалов 110 т. Парк в это время состоял из моделей HD-1200 в количестве 16 единиц, БелАЗ-548 и БелАЗ-549 – 4, БелАЗ-75131 (130 т) – 18, Cat-785 (136 т) – 7.

В настоящее время, наряду с рудным комплексом ЦПТ дальнейшее развитие получает эта технология для доставки скальной вскрыши на внешний отвал. С конца 2010 года с целью снижения грузооборота технологического автотранспорта по мере углубления карьера, а его глубина с нагорной частью в 2014 году составила 519 м, Ковдорский ГОК проводит работы по вводу в эксплуатацию второй очереди ЦПТ транспортировки скальной вскрыши. Проект предполагает удлинение конвейерной линии на 662 м. В итоге общая протяженность открытого конвейерного комплекса составит 1700 м (МККХ “EVROKhim”, 2010). Модели автосамосвалов, применяемых на комбинате, по состоянию на 2014 год и их среднесписочное число приведены в Таблице 1 (Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli..., 2015).

Таблица 1. Применяемые модели автосамосвалов и их среднесписочное число на 8 крупнейших ГОКах стран СНГ*

Модель автосамосвала	Ковдорский ГОК	Оленегорский ГОК	Стойленский ГОК	Ингулецкий ГОК	Южный ГОК	Северный ГОК	Центральный ГОК	Полтавский ГОК
БелАЗ-7522 (30 т)	—	—	—	19	—	—	5	9.4
БелАЗ-7555 (55 т)	—	—	10	—	—	—	5	—
БелАЗ-7523 (42 т)	—	—	—	6	—	—	—	—
БелАЗ-7547 (45 т)	—	—	—	6	—	—	—	—
БелАЗ-7548 (42 т)	—	—	—	—	30	—	—	—
БелАЗ-7512 (120 т)	—	—	—	23	30	26.4	15	—
БелАЗ-75145 (120 т)	—	—	28	23	—	—	15	—
БелАЗ-75121 (120 т)	—	—	28	—	—	—	—	10
БелАЗ-75131 (130 т)	13.4	6.7	28	24.3	—	35.4	22	—
БелАЗ-75137 (130 т)	—	10.8	—	—	—	—	—	—
HD-785 (136 т)	2	—	—	—	—	—	—	67.9
HD-1200 (120т)	5.08	—	—	—	—	1	—	67.9
Cat-777 (87 т)	8.5	—	—	—	—	—	—	67.9
Cat-785 (136 т)	23.4	9.9	—	—	—	—	—	67.9
HD-1500 (150 т)	2.8	—	—	—	—	—	—	—
MT-3300 (136 т)	—	5.4	—	—	—	—	—	—
Количество применяемых моделей автосамосвалов	6	4	4	6	2	3	5	6

*Данные по ГОКах России за 2014 год, Украины – за 2010 год

В 1981 году был сдан в эксплуатацию комплекс ЦПТ на Оленегорском карьере, где руда автомобильным транспортом доставляется к внутрикарьерному дробильно-перегрузочному пункту (ДПП). До введения комплекса работали разные автомобили начиная с ЗИС-150, ЗИС-185 и заканчивая БелАЗ-549 (Mariëv, Kuleshov, Egorov, & Zyryanov, 2006). С 1983 года начали внедрять автосамосвалы БелАЗ-7519 и к 1990 году их численность достигла 40. В результате постепенного обновления парка в 2000 году транспортное предприятие насчитывало 17 БелАЗ-75121, 13 БелАЗ-75145 (120 т) и 1 автосамосвал БелАЗ-75131 (130 т). В 2005 году были закуплены 136-тонные автосамосвалы MT-3300 фирмы Unit Rig (Табл. 1).

В Центральном районе России ЦПТ внедрена на Стойленском ГОКе. С 1978 года в карьере наряду с железнодорожным применялся автотранспорт. Парк насчитывал 117 автомобилей БелАЗ грузоподъемностью 27 и 40 т (Mariëv, Kuleshov, Egorov, & Zyryanov, 2006). Через 10 лет эксплуатации назрела необходимость замены устаревающих машин и в 1983 году было приобретено несколько автосамосвалов БелАЗ-549, а с 1984 года началось поступление 110-тонных БелАЗ-75191. В 1990 году парк состоял из 30 120–130-тонных БелАЗ и 27 моделей БелАЗ-7555, а к 2000 году количество машин сократилось до 21 и 18, соответственно. На таком, примерно, уровне автотранспортное предприятие работало до ликвидации комплекса ЦПТ в 2007 году.

Аналогичная ситуация складывалась в автотранспортных предприятиях на карьерах Украины, применяющих ЦПТ. Так, на Ингулецком ГОКе до 1990 года применялись автосамосвалы БелАЗ грузоподъемностью от 27 до 110 т. К 2000-му году парк переоснастили на более современные модели: БелАЗ-7523, 7522 грузоподъемностью 42 и 30 т; БелАЗ-75145, 75122 грузоподъемностью 120 т. С появлением на рынке 130-тонных машин парк снова претерпел изменения, и среднесписочное число сократилось с 95 до 78.3 самосвалов (Табл. 1).

На Полтавском ГОКе ЦПТ внедрена в 1984 году, как и в других случаях, с целью сокращения высоты подъема горной массы автотранспортом. Парк при этом к 1990 году составляли 36 автосамосвалов HD-1200, 20 БелАЗ-7519 и 15 БелАЗ-75485. К 1996 году глубина карьера увеличилась, и в мае был введен в эксплуатацию передвижной дробильно-конвейерный комплекс, что позволило сократить высоту подъема горной массы автосамосвалами еще на 107 м. За счет этого было высвобождено 9 автосамосвалов и к 2000 году постоянно обновляемый парк насчитывал 22 HD-1200, 33 БелАЗ-7519, -75121, -75145 и 10 БелАЗ-75485, -7522. Дальнейшее обновление парка и списание автосамосвалов, выработавших свой ресурс уже в 2004 году, позволили сократить парк до 60 единиц, из них: HD-1200 – 16, Komatsu HD-785 (91 т) – 12, Caterpillar Cat-777 (91 т) – 3 и 29 120-тонных БелАЗ. Как видно, с этого времени предприятие стало ориентироваться на применение автосамосвалов дальнего зарубежья. Особенно четко это видно на примере 2010 года (Табл. 1).

На Анновском карьере Северного ГОКа транспортирование руды и вскрыши производится по двум

дробильно-конвейерным трактам. В апреле 2010 года начато строительство комплекса ЦПТ для транспортирования скальных вскрышных пород в Первомайском карьере мощностью до 40 млн т. Автомобильный парк Северного ГОКа, как и на большинстве железорудных предприятий СССР, состоял из автосамосвалов HD-1200 и БелАЗ-7519, количество которых к 1990 году составляло 61 и 64 соответственно. Стареющие автосамосвалы списывали и заменяли новыми 120–130-тонными. Некоторое время на ГОКе эксплуатировались 4 автосамосвала Cat-785 и 1 Cat-789, но по ряду причин они не показали высокопроизводительной работы.

В 2011 году возобновлено строительство комплекса ЦПТ для доставки руды из карьера Южного ГОКа на отметке –210 м. Ввод в эксплуатацию первой очереди рудной ЦПТ запланирован на 1-й квартал 2013 года. Кроме того, будет восстановлена 4-я секция рудообогатительной фабрики №2 (Ukrainskie GOKi..., 2011). На протяжении последних 20 лет парк состоит из автосамосвалов БелАЗ грузоподъемностью 27, 40 и 110 т. При этом число их колеблется от 25 до 31.

Все приведенные выше и ниже данные относятся в целом к автотранспортным предприятиям ГОКов и карьеров, в связи с тем, что в разные периоды автосамосвалы работают на перевозке как руды, так и вскрыши. Данные об изменении структуры парка автосамосвалов свидетельствуют о постоянном увеличении единичной мощности оборудования в связи с увеличением глубины карьеров и ухудшением условий эксплуатации. На Рисунке 1 показан рост средней грузоподъемности автосамосвалов на 9 крупнейших карьерах США и на 8 крупнейших ГОКах России, где в 2014 году она составила 131.2 т.

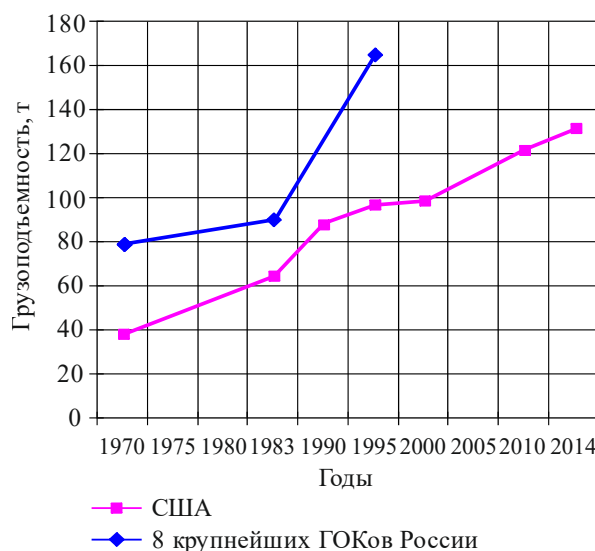


Рисунок 1. Изменение средней грузоподъемности карьерных автосамосвалов, применяемых на горнодобывающих предприятиях

На железорудных карьерах России и Украины, использующих системы ЦПТ, применяются автосамосвалы различной грузоподъемности (от 30 до 177 т) и разных фирм (Табл. 1), в том числе до 2–3 моделей одинаковой грузоподъемности. В связи с тем, что в разные моменты времени автосамосвалы разных моде-

лей и разной грузоподъемности осуществляют перевозки из забоев к пунктам перегрузки, в Таблице 2 приведены общие объемы перевозок горной массы автотранспортом из забоев и повторных перевозок, а некоторые усредненные показатели эксплуатации автотранспорта на 8 крупнейших ГОКах СНГ приведены на Рисунке 2 (Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli..., 2004, 2005, 2007, 2009, 2011). Технические характеристики применяемых в системах ЦПТ автосамосвалов приведены в Таблице 3 (Tekhnicheskie kharakteristiki..., 2002; Tekhnicheskie kharakteristiki..., 2012).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ технических характеристик 60 базовых моделей автосамосвалов фирм Caterpillar, Komatsu, Liebherr, БелАЗ, Unit Rig, Euclid, Terex показал тесную корреляционную связь их основных параметров с грузоподъемностью. Так, коэффициент корреляции размеров ширины автосамосвалов с их грузоподъемностью составил $r = 0.94$, мощности двигателя $r = 0.95$, массы автосамосвала $r = 0.98$, радиуса поворота $r = 0.8$.

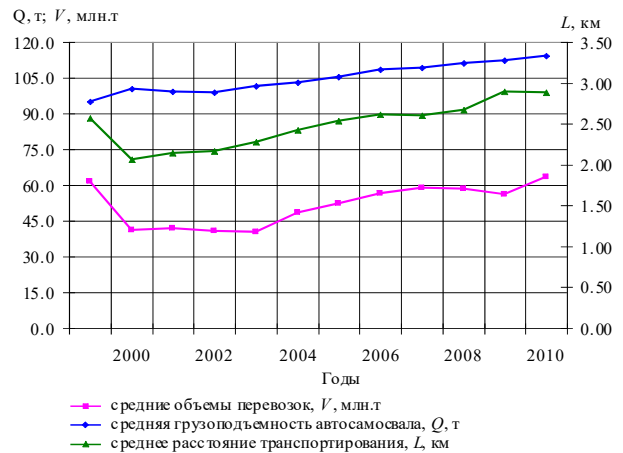


Рисунок 2. Изменение показателей эксплуатации автотранспорта в системах ЦПТ 8 крупнейших ГОКах СНГ

Таблица 2. Объемы (млн т) автотранспортных перевозок в 1990 – 2014 годах на карьерах, применяющих ЦПТ

ГОК	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Ковдорский	71.7	53.8	58.4	57.5	60.7	66.1	77.6	79.4	81.6	89.38	79.6	77.03	84.7	89.9	91.33	70.81
Оленегорский	60.7	45.2	51.8	45.7	42.8	44.4	53.4	57.6	58.4	59.1	45.3	45.7	56.9	64.0	71.6	62.0
Стойленский	35.8	41.9	38.5	35.8	34.0	38.93	40.8	43.8	45.7	45.1	42.1	43.0	43.2	46.7	47.8	47.8
Ингулецкий	69.4	58.1	57.0	57.9	62.9	64.7	62.6	63.1	62.9	53.1	48.3	65.4	64.2	63.7	—	—
Южный	13.1	6.8	7.3	5.4	3.7	7.5	7.35	9.34	11.4	7.87	9.35	11.5	14.4	18.8	—	—
Северный	117.5	32.0	38.7	45.2	44.6	80.9	65.0	68.1	77.1	79.05	85.9	98.1	100.6	104.1	—	—
Центральный	58.1	32.6	36.2	28.0	24.6	29.5	39.5	51.7	51.3	45.33	42.14	65.82	47.65	52.45	—	—
Полтавский	67.4	58.2	48.8	49.62	50.11	56.99	73.08	77.81	81.65	89.44	95.7	101.5	106.1	107.2	—	—

Таблица 3. Технические характеристики карьерных автосамосвалов, применяемых в системах ЦПТ

Параметр	БелАЗ					Komatsu			Caterpillar			Terex
	7548	7547	7555	7512	75131	HD 785-5	HD 1200	HD 1500-5	777D	785C	789B	MT 3300AC
Грузоподъемность, т	42	45	55	120	130	91	120	150	91	136	177	136
Мощность двигателя, кВт	368	368	537	882	1194	807	895	1108	699	962	1342	1286
Удельная мощность двигателя, кВт/т	8.76	8.18	9.76	7.35	9.18	8.87	7.46	7.39	7.68	7.07	7.58	9.46
Максимальная скорость, км/ч	50	50	55	50	45	61.9	57.5	58	60.4	56	54	53
Ширина автосамосвала, м	3.91	4.62	4.4	6.14	6.8	5.66	6.3	6.62	5.46	6.64	7.67	7.1
Высота автосамосвала, м	4.28	4.39	4.32	5.28	5.72	5.05	4.89	5.85	4.97	5.77	6.15	6.4
Длина автосамосвала, м	8.09	8.09	8.85	11.38	11.5	10.49	10.855	11.37	9.78	11.02	12.18	12.3
Геометрическая емкость кузова, м³	21	19,6	25	47	51	38,6	55	54	36.4	57	73	59
Емкость кузова с шапкой, м³	26	26.2	35	61	73	60	78	78	51.5	78	105	90
Минимальный радиус поворота, м	10.2	10.2	9.75	13	13	9.9	10.3	12.2	12.9	15.25	15.1	12.19
Время подъема платформы, с	25	25	15	20	20	12	н.д.	15	15	15.2	н.д.	20
Время опускания платформы, с	20	20	14	18	18	13	н.д.	15	14	21	н.д.	9
Емкость топливного бака, л	610	610	800	1500	2000	1250	1900	2120	1137	1895	3222	2271
Максимальная масса без груза, т	30	33	40	86700	107	69.93	н.д.	100.5	67.1	96353	121.5	112.88
Максимальная масса с грузом, т	72	78	95.5	206.7	237.0	166.4	214.58	249.5	149.97	249433	317.4	240.97

С помощью программного обеспечения, разработанного в ИГД УрО РАН (Polinomnye stepennye trendy..., 2008), установлены зависимости мощности двигателя и массы от грузоподъемности автосамосвала (Рис. 3).

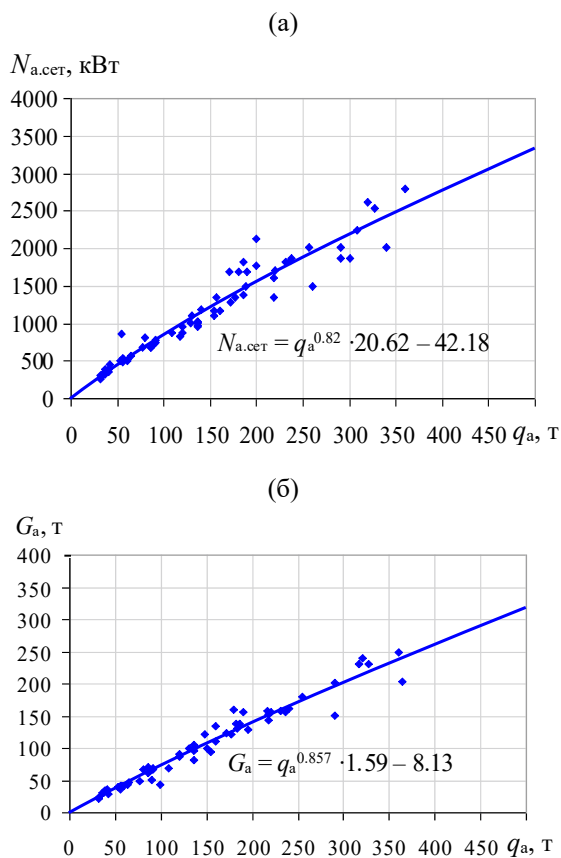


Рисунок 3. Изменение параметров автосамосвала в зависимости от его грузоподъемности q_a : (а) мощности двигателя $N_{a.cet}$; (б) массы без груза G_a

Рынок заставил производителей горнотранспортного оборудования выпускать все больше модификаций базовых моделей автосамосвалов для специфичных условий эксплуатации. Наличие большого количества моделей автосамосвалов одного класса по грузоподъемности привело к разбросу их основных параметров, что существенно затрудняет выбор рациональной модели автосамосвала для условий конкретных карьеров (Табл. 4).

Таблица 4. Изменение некоторых параметров автосамосвалов по классам грузоподъемности

Грузоподъемность автосамосвала, т	Размах параметров, %				
	мощность	ширина	радиус поворота	нагрузка на шины	коэффициент тары
30 – 36	15.8	17.0	12.6	9.1	17.1
40 – 45	12.8	5.8	9.3	4.1	16.9
50 – 60	10.2	13.7	31.2	12.8	5.2
80 – 90	15.2	33.8	23.2	12.4	17.8
120	11.1	6.0	21.0	7.9	7.0
130 – 140	15.6	9.1	19.7	9.1	—
150 – 160	21.6	11.4	20.0	13.1	36.2
180	20.6	8.7	20.0	6.9	25.3

Итак, большая конкуренция фирм по производству карьерных автосамосвалов одного класса грузоподъемности, непрерывное совершенствование их конструкции и изменение цен, необходимость замены изношенных автосамосвалов новыми, усложнение условий эксплуатации машин с увеличением глубины карьера, постоянно возрастающие требования к эффективности горнотранспортных работ и снижению отрицательного влияния на окружающую среду, большое многообразие горнотехнических условий эксплуатации автосамосвалов на карьерах (в том числе применяющих ЦПТ), различие в уровне экономической деятельности предприятия и другие факторы обуславливают необходимость более обоснованного выбора и применения лучшей модели автосамосвала из числа определенного класса грузоподъемности, которая удовлетворяла бы требованиям предприятия на ближайшие 5 – 10 лет.

Выбор лучшей модели может быть осуществлен на основе научно обоснованной методики определения уровня потребительских качеств автосамосвала, который являлся бы интегральным показателем, учитывающим техническое совершенство конструкции автосамосвала, эффективность системы обслуживания автосамосвала фирмой-изготовителем в течение всего срока его эксплуатации, степень пригодности к горнотехническим условиям конкретного карьера и возможность достижения высоких технико-экономических показателей при работе в карьере (Glebov, 2008; Glebov, 2012b).

При неуклонно растущей глубине открытой разработки полезных ископаемых, усложнении горнотехнических и горно-геологических условий целесообразно использовать инновационные технологии и горное оборудование, что позволит отстраивать борты с максимально возможными по устойчивости параметрами и обрабатывать месторождение с минимальным объемом вскрыши. Это даст возможность вести углубочные работы ниже ранее намеченной проектной глубины карьеров и с минимальными затратами производить добычу и переработку руды.

Для полноты использования геометрического пространства карьеров и отстройки бортов с предельно допустимыми по физико-механическим условиям параметрами представляется целесообразным применение конструкции транспортных берм с минимальной шириной и максимальным уклоном (более 15 – 18%).

Преодоление крутых уклонов карьерными автосамосвалами технически возможно лишь на коротких участках, так как с увеличением затяжного подъема работа двигателя и трансмиссии на предельных режимах ведет к снижению надежности и выходу из строя основных узлов машины, повышается износ шин, возрастает расход топлива, скорость транспортирования падает, а эксплуатационные затраты растут. Поэтому в стесненных условиях при доработке глубоких карьеров в качестве сборочного транспорта систем ЦПТ целесообразно использовать самосвалы с шарнирно-сочлененной рамой (ШСС).

Сегодня в мире ШСС выпускают компании Volvo, Caterpillar, Bell, Liebherr, Komatsu, Mitsubishi, Terex,

Belaz (БелАЗ-75281, 36 т) и многие другие. В России производство ШСС только начинается (в Чебоксарах в 2013 году на заводе “Промтрактор” собран первый самосвал С-33), поэтому спрос на них в России в полном объеме удовлетворятся импортом.

Все перечисленные выше машины прекрасно рекомендовали себя в различных отраслях строительства при перевозке грузов в труднопроходимых условиях, а также при добыче полезных ископаемых и строительных материалов открытым способом для их транспортировки из забоев к пунктам разгрузки. Положительный мировой опыт эксплуатации самосвалов Volvo A40D – на предприятиях “Marmi di Carrara Srl” (г. Каррара, Италия) и “WBB Minerals” по добыче пластичной глины (Англия), самосвалов CAT-740 на карьере “Tarmac Pant Quarry” (Уэльс, Англия) позволяют сделать вывод о надежности и качестве данных машин (Sochlenennye samosvaly Volvo, 2007).

В карьере “Tarmac Pant Quarry” по добыче 1.2 млн т/год известняка самосвалы Cat-740 грузоподъемностью 38 т доставляют горную массу на борт карьера, где она перегружается в передвижную дробилку и конвейером складывается в штабель, откуда подается на дальнейшую переработку. Общая высота подъема составляет 100 м, длина трассы на подъем – около 800 м при среднем уклоне 12.5% при варьировании продольного уклона отдельных участков трассы от 10 до 26%.

Горнодобывающее предприятие “Marmi di Carrara Srl”, разрабатывающее месторождение мрамора нагорным карьером, использует Volvo A40D с разделением для грузового и порожнякового направлений односторонним движением. Две машины данного класса перевозят 2000 т/сутки горной массы. Максимальный угол наклона трассы 35%. По словам сотрудников (инженеров и водителей), моторный тормоз полностью позволяет контролировать движение самосвала под уклон, исключая необходимость использования рабочих тормозов.

В России ШСС применяют нефте- и газодобывающие компании, осваивающие месторождения в сложных природно-климатических условиях и условиях бездорожья. Как и за рубежом на открытых горных работах ШСС применяют в основном при производстве строительных материалов: мраморные плиты, щебень, глина и т.п.

Одним из примеров железорудной промышленности является комбинат “Магнезит”, на котором в настоящее время эксплуатируются 10 самосвалов Bell B40D (Prezentatsiya..., 2012), наработавших по 12000...14000 м-часов, самосвал Bell B50D и 6 самосвалов Volvo A40F. За 6 месяцев эксплуатации самосвала Bell B50D его наработка составила более 2500 м-часов. Весь этот период самосвал работал в сложнейших горно-геологических условиях, связанных с транспортировкой горной породы по трассам с уклонами до 15%, глинистым основанием и перепадами высот до 190 – 200 метров на относительно коротких расстояниях транспортировки.

Технологию доработки глубоких карьеров с применением крутонаклонных съездов одним из первых в мире предложил институт “Якутнипроалмаз АК

“АЛРОСА”. Проектные решения были приняты для доработки карьера “Удачный” в 2008 году. После проведенных совместно с ИГД УрО РАН исследовательских работ (Akishev, Babaskin, Kozhemyakin, & Nikitin, 2013) было принято решение о применении в качестве транспортного средства самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой. Были разработаны варианты технологии проходки крутых съездов на карьерах АК “АЛРОСА” с использованием имеющегося горнотранспортного оборудования (Bersenev, Glebov, & Karmaev, 2008), а также временные рекомендации по безопасной эксплуатации ШСС на крутых уклонах, на горных работах, согласованные с управлением Государственного горного и металлургического надзора (Vremennye rekomendatsii..., 2008).

Сложности при внедрении упомянутых выше решений были связаны с тем, что применение инновационной техники и технологий в настоящее время ограничивается целым рядом требований нормативных документов таких как нормы технологического проектирования, СНиПы, правила безопасности и т.д., разработанных в 80-х годах прошлого столетия.

В результате проведенных исследований установлены: максимальные уклоны при транспортировании горной массы на подъем и спуск; максимальная скорость движения в порожнем и грузовом направлении на уклоне до 30%; рациональные безопасные параметры автомобильных съездов (ширина проезжей части, ширина транспортной бермы, уширение проезжей части, высота удерживающего породного вала и др.). Обоснованы технологии строительства и обустройства транспортных съездов. Разработаны меры по предотвращению аварийных ситуаций при движении самосвалов на крутых уклонах, работе в забое, во время погрузочно-разгрузочных и буксировочных работ с учетом погодных условий.

Выполнены исследования по обоснованию технологических схем перехода на повышенные уклоны, отличающихся динамикой сокращаемых объемов выемки вскрышных пород (Lel' & Dunaev, 2013). Установлены области применения повышенных уклонов.

4. ВЫВОДЫ

Основная масса исследований в области формирования структуры горнотранспортного оборудования проведена в период 1970 – 1990 годов и требует существенной доработки применительно к современным экономическим условиям, поэтому, опираясь на результаты предшественников, авторы постарались изложить результаты исследований, проводимых в Институте горного дела УрО РАН и других организациях за последние 10 лет (Glebov, 2012a; Lukichev, Belogorodtsev, & Gromov, 2015; Solomennikov & Cheskidov, 2015; Yakovlev et al., 2016; Glebov, 2017).

В условиях меняющихся цен и спроса на сырьё, а также изменения горнотехнических условий эксплуатации по мере отработки карьеров структуры технологического оборудования горнодобывающих предприятий должны обеспечивать обязательное выполнение производственной программы с рентабельными экономическими показателями в течение определенного периода отработки карьера. При

этом целесообразно стремиться к использованию технологического оборудования рациональной единичной мощности с максимальным уровнем его потребительских качеств.

Используя проведенные исследования по взаимодействию экскаваторно-автомобильного и дробильно-конвейерного комплексов ЦПТ, можно выбрать горнотранспортное оборудование с учетом взаимного влияния смежных звеньев на их работу и функционирование системы в целом.

Реализуемый системный подход обеспечивает оптимизацию параметров оборудования сборочного автомобильного транспорта, а также рациональное количественное и качественное соотношение транспортных единиц в системах ЦПТ.

Разработаны оригинальные методики выбора модели автосамосвала технологического автотранспорта, формирования парка автосамосвалов по критериям обеспечения необходимого объема перевозок и допустимой себестоимости транспортирования горной массы, определения экономически эффективного и технически безопасного срока службы автосамосвала.

Выполнены исследования по обоснованию технологических схем перехода на повышенные уклоны дорог, которые отличаются снижением объемов добычи вскрышных пород. Установлены области применения повышенных уклонов дорог.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор выражает благодарность к.т.н. Геннадию Дмитриевичу Кармаеву и к.т.н. Виктору Анатольевичу Берсеневу – сотрудникам лаборатории транспортных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук за активное участие в исследованиях. Статья подготовлена в рамках финансирования государственного задания по выполнению фундаментальных и прикладных исследований.

REFERENCES

- Akischev, A.N., Babaskin, S.L., Kozhemyakin, A.A., & Nikitin, R.V. (2013). Razvitie tekhnologii prokhodki i formirovaniya na kar'yere transportnykh s'ezdov krutogo uklona. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten'*, (12), 58-64.
- Bersenev, V.A., Glebov, A.V., & Karmaev, G.D. (2008). *Sposob provedeniya krutoy transhei*. Patent No 2376471, Rossiyskaya Federatsiya.
- Glebov, A.V. (2008). Metodika otsenki urovnya potrebitel'skikh kachestv i konkurentosposobnosti geotekhniki (na primere kar'yernykh avtosamosvalov). *Gornoe Oborudovanie i Elektromekhanika*, (5), 49-55.
- Glebov, A.V. (2012a). The Methods of Forming the Fleet of Open Pit Dump Trucks. *Eurasian Mining*, (1), 33-36.
- Glebov, A.V. (2012b). *Metodika otsenki urovnya konkurentosposobnosti kar'yernykh avtosamosvalov. Kar'yernye avtosamosvaly*. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH fnd Co.

- Glebov, A.V., Karmaev, G.D., Bersenev, V.A., & Seminkin, A.V. (2017). Novye podkhody i resheniya po primeneniyu tsiklichno-potochnoy tekhnologii na kar'yerakh. *Gornyy Zhurnal*, (6), 48-52. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.06.09>
- Lel', Yu.I., & Dunaev, S.A. (2013). Perspektivy primeniya polnoprivodnykh sharnirno-sochlenennykh avtosamosvalov na kar'yerakh Urala. In *Sozdanie Vysokoeffektivnykh Proizvodstv na Predpriyatiyakh Gorno-Metallurgicheskogo Kompleksa* (pp. 17-18). Verkhnyaya Pyshma: UGMK.
- Lukichev, S.V., Belogorodtsev, O.V., & Gromov, E.V. (2015). Justification of Methods to Open Up Ore Bodies with Various Combinations of Conveyor Transport. *Journal of Mining Science*, 51(3), 513-521. <https://doi.org/10.1134/S1062739115030126>
- Mariev, P.L., & Anistratova, K.Yu. (2005). *Kar'yernaya tekhnika PO "BelAZ"*. Moskva: OOO "KA Tekhnokomplekt".
- Mariev, P.L., Kuleshov, A.A., Egorov, A.N., & Zyryanov, I.V. (2006). *Kar'yernyy avtotransport stran SNG v XXI veke*. Sankt-Peterburg: Nauka.
- MKKh "EVROKhim" Gotovitsya k vvodu v ekspluatatsiyu vtoroy ocheredi tekhnologii transportirovki skalnoy vskryshi v kovdorskom GOKe. (2010). Retrieved from http://www.mashportal.ru/company_news-18903.aspx
- Polinomnye stepennyye trendy s samoopredelyayushchimisya pokazatelyami stepeni. (2008). Retrieved from <http://www.igduran.ru>
- Prezentatsiya BELL B50D. (2012). Retrieved from <http://www.gross-cc.ru/news.php?id=31>
- Sochlenennyye samosvaly Volvo. Opyt ekspluatatsii (mestorozhdeniya v Italii, Anglii, Norvegii, Rossii). (2007). DVD.
- Solomennikov, V.A., & Cheskidov, V.I. (2015). Selection of Load-Haul-Dump Machines for Hard Mineral Mining in Difficult Mining and Geological Conditions. *Journal of Mining Science*, 51(6), 1213-1219. <https://doi.org/10.1134/s1062739115060502>
- Tekhnicheskie kharakteristiki kar'yernykh avtosamosvalov firmy Terex. (2002). Retrieved from www.terex.com
- Tekhnicheskie kharakteristiki kar'yernykh avtosamosvalov firmy Caterpillar. (2012). Retrieved from http://www.mantracvostok.ru/index.php?pg=products_new&classid=406&langid=ru&groupid=470&sc=V218&unit=metric
- Tekhnicheskie kharakteristiki kar'yernykh avtosamosvalov firmy Komatsu. (2012). Retrieved from www.komatsumining.com
- Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli gornykh predpriyatiy za 1990 – 2003 gg. (2004). Ekaterinburg.
- Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli gornykh predpriyatiy za 1990 – 2004 gg. (2005). Ekaterinburg.
- Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli gornykh predpriyatiy za 1990 – 2006 gg. (2007). Ekaterinburg.
- Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli gornykh predpriyatiy za 1990 – 2008 gg. (2009). Ekaterinburg.
- Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli gornykh predpriyatiy za 1990 – 2010 gg. (2011). Ekaterinburg.
- Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli gornykh predpriyatiy za 1990 – 2014 gg. (2015). Ekaterinburg.
- Ukrainskie GOKi vlozhasya po krupnomu. (2011). Retrieved from <http://www.metald.ru/news&obj=1024>
- Vremennyye rekomendatsii po bezopasnoy ekspluatatsii sharnirno-sochlenennykh samosvalov na krutykh uklonakh, na gornykh rabotakh AK "ALROSA". (2008). Ekaterinburg.
- Yakovlev, V.L., Karmaev, G.D., Bersenev, V.A., Glebov, A.V., Seminkin, A.V., & Sumina, I.G. (2016). Efficiency of Cyclical-And-Continuous Method in Open Pit Mining. *Journal of Mining Science*, 52(1), 102-109. <https://doi.org/10.1134/s1062739116010174>

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Использование технологического сборочного автотранспорта рациональной единичной мощности с максимальным уровнем его потребительских качеств.

Методика. На основе системного подхода обеспечивается оптимизация параметров оборудования сборочного автомобильного транспорта, а также рациональное количественное и качественное соотношение транспортных единиц в системах циклично-поточной технологии (ЦПТ).

Результаты. Разработаны оригинальные методики выбора модели автосамосвала технологического автотранспорта, формирования парка автосамосвалов по критериям обеспечения необходимого объема перевозок и допустимой себестоимости транспортирования горной массы, определения экономически эффективного и технически безопасного срока службы автосамосвала. Выполнены исследования по обоснованию технологических схем перехода на повышенные уклоны дорог, которые отличаются снижением объемов добычи вскрышных пород. Установлены области применения повышенных уклонов дорог.

Научная новизна. Разработан новый методический подход к определению уровня потребительских качеств автосамосвалов, который является интегральным показателем, отличающийся учетом технического совершенства конструкции автосамосвала, эффективностью системы обслуживания автосамосвала фирмой-изготовителем в течение всего срока его эксплуатации, степенью пригодности к горнотехническим условиям конкретного карьера и возможностью достижения высоких технико-экономических показателей при работе в карьере.

Практическая значимость. В результате проведенных исследований установлены максимальные уклоны при транспортировании горной массы на подъем и спуск; максимальная скорость движения в порожнем и грузом направлении на уклоне до 30%; рациональные безопасные параметры автомобильных съездов (ширина проезжей части, ширина транспортной бермы, уширение проезжей части, высота удерживающего породного вала и др.). Обоснованы технологии строительства и обустройства транспортных съездов. Разработаны меры по предотвращению аварийных ситуаций при движении самосвалов на крутых уклонах, работе в забое, во время погрузочно-разгрузочных и буксировочных работ с учетом погодных условий.

Ключевые слова: циклично-поточная технология, сборочный автотранспорт, формирование парка автосамосвалов, повышенные уклоны автодорог

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Використання технологічного складального автотранспорту раціональної одиничної потужності з максимальним рівнем його споживчих якостей.

Методика. На основі системного підходу забезпечується оптимізація параметрів обладнання складального автомобільного транспорту, а також раціональне кількісне і якісне співвідношення транспортних одиниць в системах циклічно-поточної технології (ЦПТ).

Результати. Розроблено оригінальні методики вибору моделі автосамоскиду технологічного автотранспорту, формування парку автосамоскидів за критеріями забезпечення необхідного обсягу перевезень і допустимої собівартості транспортування гірничої маси, визначення економічно ефективного та технічно безпечного терміну служби автосамоскиду. Виконано дослідження з обґрунтування технологічних схем переходу на підвищені похили доріг, які відрізняються зниженням обсягів видобутку розкривних порід. Встановлено області застосування підвищених похилів доріг.

Наукова новизна. Розроблено новий методичний підхід до визначення рівня споживчих якостей автосамоскидів, який є інтегральним показником, що відрізняється урахуванням технічної досконалості конструкції автосамоскиду, ефективністю системи обслуговування автосамоскиду фірмою-виробником протягом всього терміну його експлуатації, ступенем придатності до гірничотехнічних умов конкретного кар'єра та можливістю досягнення високих техніко-економічних показників при роботі в кар'єрі.

Практична значимість. В результаті проведених досліджень встановлено максимальні похили при транспортуванні гірської маси на підйом і спуск; максимальна швидкість руху в порожньому і вантажному напрямку на похилі до 30%; раціональні безпечні параметри автомобільних з'їздів (ширина проїжджої частини, ширина транспортної берми, розширення проїзної частини, висота утримуючого породного валу та ін.). Обґрунтовано технології будівництва та облаштування транспортних з'їздів. Розроблено заходи щодо запобігання аварійним ситуаціям при русі самоскидів на крутих похилах, роботі в забої, під час вантажно-розвантажувальних і буксирувальних робіт з урахуванням погодних умов.

Ключові слова: циклічно-поточна технологія, складальний автотранспорт, формування парку автосамоскидів, підвищені похили автодоріг

ARTICLE INFO

Received: 17 July 2017

Accepted: 20 November 2017

Available online: 23 November 2017

ABOUT AUTHORS

Andrey Glebov, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director for Scientific Affairs, The Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 58 Mamina-Sibiryaka St, 620219, Ekaterinburg, Russian Federation. E-mail: Glebov@igduran.ru