



Ресурсы производительности экскаваторно- автомобильного комплекса



Михаил ГРЯЗНОВ
Mikhail V. GRIAZNOV

Сергей КОЛОБАНОВ
Sergey V. KOLOBANOV



Грязнов Михаил Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного транспорта Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова, Магнитогорск, Россия.

Колобанов Сергей Валерьевич – директор ООО «Лога», Магнитогорск, Россия.

Проблема определения производительности экскаваторно-автомобильных комплексов (ЭАК) является особо актуальной при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. В зависимости от мощности и глубины залегания, а также объема добычи руды используют различные технологические схемы ведения горных работ на карьерах. Довольно часто наименьшие затраты при этом обеспечивают варианты, предусматривающие выемку и погрузку горной массы экскаваторами циклического действия и дальнейшую ее транспортировку автосамосвалами от добычного или вскрышного фронта на поверхность или соответственно на склад или в отвал. Рассматриваемая в статье научная задача, по сути, транспортная, поскольку она решается методами оптимизации транспортных процессов. Авторы обосновывают способ расчета производительности ЭАК, в составе которого задействованы автосамосвалы малой (до 30 т) грузоподъемности и экскаваторы с небольшой (до 2 м³) вместимостью ковша. Полученная на основе известных методов расчета номограмма производительности ЭАК применима прежде всего в условиях строящегося карьера.

Ключевые слова: транспортный процесс, производительность, экономика, организация производства, экскаваторно-автомобильный комплекс, транспортировка вскрышных пород, автосамосвалы, канал доставки, расчет эффективности, хронометраж, оценка ресурсов.

Михеевский рудник предназначен для разработки месторождения меди (Варненский район, Челябинская область). Вскрышная порода здесь представляет собой смесь песка и глины, в разрыхленном состоянии плотность которой составляет 1,6 т/м³. Залегание такой смеси в горном массиве позволяет осуществлять селективную выемку и раздельное складирование в отвал песка и глины. Перевозимая вскрышная порода имеет свойство налипания и примерзания к ковшам экскаваторов, отвалам бульдозерной техники, днищам и бортам кузовов подвижного состава, что негативно сказывается на эксплуатационной производительности всего горнотранспортного оборудования карьера.

Рыхление массива осуществляется одновременно с выемкой вскрышной породы экскаватором. Выемочно-погрузочные работы ведутся гидравлическими экскаваторами типа «обратная лопата» с вместимостью ковша 1,44–2,0 м³. В зависимости от направления развития горных выемок, рабочего горизонта и места формирования экскаваторного забоя погрузочные фронты на карьере сооружаются тупиковыми

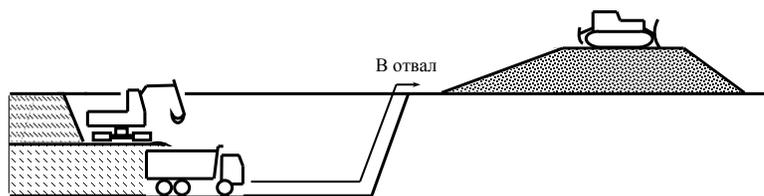


Рис. 1. Схема перевозки вскрыши с верхней погрузкой автосамосвалов на Михеевском руднике (на начало 2012 года).

и проездными, с верхней и нижней погрузкой. У грузовых фронтов формируется площадка для маневрирования автосамосвалов.

На начало 2012 года перевозка вскрыши производилась несколькими подрядными организациями, в том числе и ООО «Лога». Этот подрядчик эксплуатирует на карьере четыре экскаватора (три основных и один резервный), а также трех- и четырехосные автосамосвалы грузоподъемностью 20–30 т: HOWO – 1 ед.; CAMC – 2 ед.; DONGFANG – 4 ед.; MAN – 1 ед.; КамАЗ-6520 – 4 ед. Перевозка идет по маятниковым маршрутам из карьера в отвал. Расстояние в зависимости от вариантов движения изменяется в пределах 0,5–2,0 км. Длина ездки и холостого хода автосамосвалов равны.

Поскольку при транспортировании вскрыши перепад высот места погрузки и выгрузки составляет не менее 15 м, время ездки не совпадает со временем холостого хода автосамосвалов. Карьерные автотрассы дорожной одежды не имеют. Разгрузка перевозимой породы осуществляется на землю в 5–7 м от бровки предохранительного вала. После уборки автосамосвала с места разгрузки выгруженная горная масса сталкивается с отвала двумя бульдозерами Б-130. Схема транспортного процесса приведена на рис. 1.

Совместная работа нескольких экскаваторов и автосамосвалов обеспечивает постоянное функционирование параллельных каналов доставки вскрыши из карьера в отвал. При поломке автосамосвалов число каналов уменьшается и производительность всего экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК) снижается. Это же наблюдается при увеличении расстояния перевозки. Кроме того, производительность комплекса различна в дневную и ночную смены. То есть исследуемая нами

проблема заключается в анализе условий выполнимости сменного плана перевозки вскрыши имеющимся количеством выемочно-погрузочного и транспортного оборудования при заданном маршруте движения.

При наличии четвертого экскаватора в резерве техническая готовность основных экскаваторов к работе в течение смены сопоставима с единицей. Поэтому сменная производительность ЭАК будет определяться суммарной производительностью автосамосвалов, а в отдельности для каждого из них – по формуле

$$Q_{см.} = n_{об.} \cdot q_{об.}, \quad (1)$$

где $n_{об.}$ – число оборотов автосамосвала за смену; $q_{об.}$ – объем вскрыши, перевозимой автосамосвалом за оборот, м³.

Число оборотов автосамосвала за смену фиксируется по формуле

$$n_{об.} = \frac{T_m}{t_{об.}} = \frac{T_n - t_{обед} - t_{передача} - t_n - t_{потери}}{t_{об.}}, \quad (2)$$

где T_m – время работы на маршруте, ч; $t_{об.}$ – продолжительность оборотного рейса, ч; T_n – время нахождения автосамосвала в наряде, ч; $t_{обед}$ – продолжительность обеденного перерыва, ч; $t_{передача}$ – время на передачу смены, ч; t_n – время на нулевой пробег, ч; $t_{потери}$ – потери времени на маршруте, ч.

Продолжительность оборотного рейса определяется по формуле

$$t_{об.} = t_n + t_{e.z.} + t_{m.p.} + t_p + t_{x.x.} + t_{ож.} + t_{m.l.}, \quad (3)$$

где t_n , $t_{e.z.}$, $t_{m.p.}$, t_p , $t_{x.x.}$, $t_{ож.}$, $t_{m.l.}$ – средняя продолжительность соответственно погрузки, ездки с грузом, маневрирования перед разгрузкой, разгрузки, холостого хода, ожидания погрузки, маневрирования перед погрузкой, ч.



Таблица 1

Фрагмент результатов хронометрирования работы автосамосвалов

Марка (гаражный номер) автосамосвала	Марка (гаражный номер) экскаватора	Но- мер за- мера	Наименование и продолжительность выполнения технологических операций транспортного процесса, мин.: сек.									
			t_n	$t_{e.z.}$	$t_{m.p.}$	t_p	$t_{x.x.}$	$t_{o.ж.}$	$t_{m.n.}$			
MAN (052)	HITACHI (80-21 XB)	1	2:38	4:04	0:30	4:10	3:59	17:08*	0:42			
		2	1:56	4:18	0:29	4:20	4:02	-	2:04			
		3	1:38	4:37	0:44	6:20	6:11	-	1:02			
HOWO (523)	HITACHI (80-21 XB)	1	2:00	4:21	0:47	2:20	3:37	4:02	1:29			
		2	1:49	4:13	0:31	1:32	4:11	-	0:58			
		3	2:50	4:04	0:41	1:38	3:56	22:17*	1:09			
DONG-FANG (965)	HITACHI (80-21 XB)	1	1:26	4:29	0:38	2:18	4:59	2:02	1:07			
		2	1:28	4:27	0:43	4:20	3:18	1:12	0:57			
		3	1:35	4:23	0:34	3:16	5:34	3:38	1:18			
Ка- МА3-6520 (142)	HITACHI (80-21 XB)	1	2:01	4:41	0:36	2:03	5:02	1:12	0:50			
		2	1:45	4:51	0:54	1:43	4:51	1:56	1:08			
Ка- МА3-6520 (142)	HITACHI (80-21 XB)	3	1:47	6:25	0:43	2:16	5:39	-	1:04			
Ка- МА3-6520 (796)	HITACHI (80-21 XB)	1	1:29	5:04	1:06	3:07	4:48	-	1:08			
		2	1:19	5:16	0:33	2:55	5:03	3:58	0:58			
		3	1:12	5:24	0:38	3:48	4:54	-	1:09			

Примечание: звездочкой отмечено время ожидания погрузки из-за подготовки экскаваторного забоя.

Таблица 2

Результаты расчета сменной производительности автосамосвалов, задействованных на перевозке вскрыши

Марка автосамосвала	Число оборотов в смену		Сменная производительность, м ³			
			Насыпной объем		Объем в целике	
	min	max	min	max	min	max
Дневная смена:						
Погрузка экскаватором HITACHI						
КамАЗ-6520	22	48	283,8	619,2	187,0	408,0
DONG-FANG	21	45	338,1	724,5	231,0	495,0
MAN	19	37	366,7	714,1	228,0	444,0
HOWO	22	49	354,2	788,9	242,0	539,0
CAMC	21	47	338,1	756,7	231,0	517,0
Погрузка экскаватором HYUNDAI						
КамАЗ-6520	21	45	270,9	580,5	178,5	382,5
DONG-FANG	20	41	322,0	660,1	220,0	451,0
MAN	18	34	347,4	656,2	216,0	408,0
HOWO	21	45	338,1	724,5	231,0	495,0
CAMC	21	43	338,1	692,3	231,0	473,0
Ночная смена:						
Погрузка экскаватором HITACHI						
КамАЗ-6520	18	41	232,2	528,9	153,0	348,5
DONG-FANG	18	38	289,8	611,8	198,0	418,5
MAN	16	32	308,8	617,6	192,0	384,0
HOWO	18	41	289,8	660,1	198,0	451,0
CAMC	18	40	289,8	644,0	198,0	440,0
Погрузка экскаватором HYUNDAI						
КамАЗ-6520	18	38	232,2	490,2	153,0	323,0
DONG-FANG	17	35	273,7	490,2	187,0	385,0
MAN	15	29	289,5	563,5	180,0	348,0
HOWO	18	38	289,8	559,7	198,0	418,0
CAMC	17	36	273,7	611,8	187,0	396,0

Примечание: 1) Минимальные значения сменной производительности соответствуют нормативной длине ездки 2 км, максимальные – 0,5 км; 2) Значения приведенных в таблице показателей, при погрузке автосамосвалов экскаваторами HITACHI одинаковы, независимо от вместимости ковша.

Величина слагаемых в формуле (3) устанавливается хронометрированием. Фрагмент результатов хронометрирования приведен в таблице 1.

Потери времени на маршруте вызваны подготовкой экскаваторного забоя, подчисткой подъездных путей к грузовому фронту, перестановкой экскаватора, сверхнормативным послеобеденным отдыхом водителей, окончанием рабочей смены ранее графика, другими причинами. Они составляют 5–15% продолжительности смены. Минимальные и максимальные значения сменной производительности автосамосвалов, установленные по формулам (1) – (2), приведены в таблице 2. Результаты расчетов показывают, что минимальную сменную производительность в кубических метрах перевозимой вскрыши как насыпного объема, так и объема в це-

лике обеспечивает автосамосвал КамАЗ-6520, максимальную – автосамосвал HOWO.

Расчет производительности ЭАК удобно производить, закрепив за каждым работающим экскаватором по четыре автосамосвала, сформировав три комплекса. За экскаватором с максимальной вместимостью ковша закрепляются четыре наиболее производительных автосамосвала, за экскаватором с минимальной вместимостью ковша – соответственно автосамосвалы с минимальной производительностью. Оставшаяся техника формирует еще один ЭАК.

В расчетах как обязательное принимается ограничение по поводу неизменности состава ЭАК. При отказе автосамосвала в одном экскаваторно-автомобильном комплексе его не может замещать техника



Рис. 2. Состав ЭАК, принятый в расчетах.

другого комплекса. Также один и тот же автосамосвал не может производить поочередно погрузку у двух и более экскаваторов. Это позволит исключить образование очереди при погрузке. Состав ЭАК, принятый в расчетах, представлен на рис. 2.

План перевозки вскрыши в целом для ООО «Лога» составляет 150 тыс. м³ в месяц или 2,5 тыс. м³ в смену. Параллельная работа нескольких каналов доставки вскрыши позволяет выполнять план перевозки даже при неисправности нескольких автосамосвалов. В этом случае расчет искомой величины основывается на рассмотрении возможных комбинаций состояний работоспособности ЭАК. Используя результаты расчета сменной производительности автосамосвалов, вычисляется суммарная производительность комплекса в каждой из рассматриваемых комбинаций.

Первой оценивается комбинация состояний, когда все 12 автосамосвалов, занятых на перевозке, исправны. Такая работа обеспечивает максимальную суммарную производительность ЭАК, которая будет изменяться в зависимости от нормативной длины ездки. Чем короче ездка, тем выше суммарная производительность комплекса. Так, при нормативной длине ездки 0,5 км значение данного показателя составит 5,49 тыс. м³ вскрыши в дневную смену. При нормативной длине ездки 2 км суммарная производительность ЭАК в дневную смену снизится до 2,57 тыс. м³. В ночную смену эти значения будут равны 4,68 тыс. м³ и 2,2 тыс. м³ соответственно.

Затем оцениваются комбинации состояний отказа одного из двенадцати автосамосвалов. При потере работоспособности наименее производительного автосамосвала КамАЗ-6520 суммарная сменная производительность ЭАК будет максимальной. К наибольшему снижению этого показате-

ля приведет отказ высокопроизводительного автосамосвала HOWO. Причем следует заметить, что во всех рассмотренных комбинациях сменный план перевозки вскрыши станет выполним, когда средняя длина ездки в дневную смену не превысит 2,0 км, в ночную смену – 1,5 км.

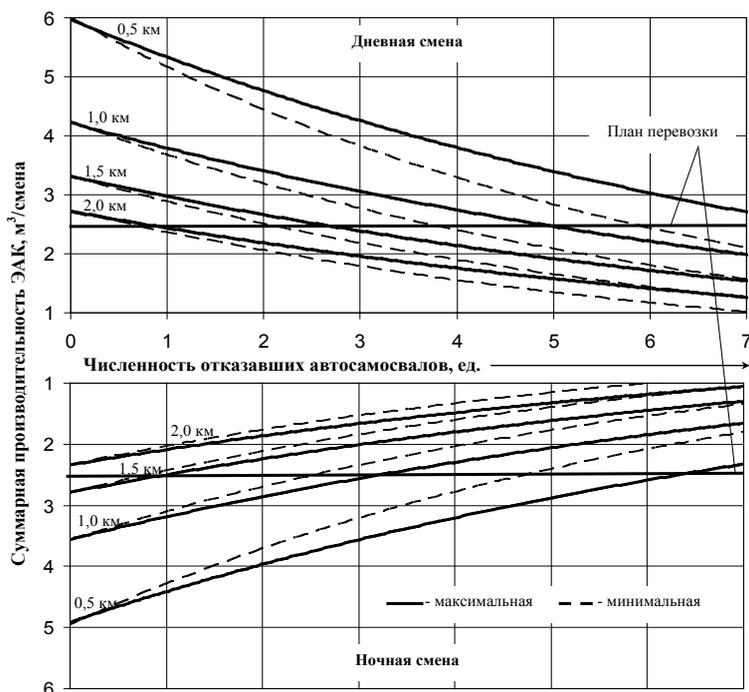
При одновременном отказе двух автосамосвалов сменный план перевозки вскрыши можно обеспечить 66 комбинациями состояний работоспособности ЭАК. Исключение составляет перевозка на 1,5–2,0 км в ночную смену и на расстояние 2,0 км в любую смену. Марка отказавшего автосамосвала значения не имеет.

Далее последовательно оцениваются комбинации состояний работоспособности ЭАК при отказе трех, четырех и более автосамосвалов в дневную и ночную смены. Число рассмотренных комбинаций прямо пропорционально числу отказавших автосамосвалов. Например, при отказе трех единиц число комбинаций составляет 220, при отказе четырех единиц – 470. По результатам проведенных расчетов были построены графические зависимости, которые в виде номограммы приведены на рис. 3.

Полученная номограмма является эффективным инструментом оперативного управления транспортным процессом, в частности, проверки выполнимости плана перевозки. Зная места формирования экскаваторных забоев на предстоящую смену, число неисправных автосамосвалов и число автосамосвалов, которые будут находиться в плановом техническом обслуживании, с помощью граммы определяется суммарная производительность ЭАК. Полученное значение сравнивается с планом перевозки (горизонтальная линия).

Если план на предстоящую смену не выполним, то необходимо принять меры

Рис. 3. Номограмма для проверки выполнимости сменного плана перевозки вскрыши при возрастании численности отказавших автосамосвалов.



по сокращению грузеных пробегов автосамосвалов (например, посредством устройства временного съезда с верхних уступов карьера), либо по увеличению коэффициента технической готовности автопарка (например, арендовав недостающий парк автосамосвалов). При оценке транспортного процесса стоит учесть, что автосамосвалы могут потерять работоспособность в течение предстоящей смены. Поэтому искомую производительность рекомендуется определять по нижней кривой. Имеющийся запас производительности ЭАК с экономической точки зрения целесообразно использовать для компенсации ее возможного дефицита в будущем периоде.

В заключение следует отметить, что область применения предлагаемых методических рекомендаций не ограничена открытой разработкой месторождений полезных ископаемых. Они применимы и для определения производительности ЭАК при возведении балластной призмы дорожного полотна, котлованов для фундаментов зданий, строительстве гидротехнических сооружений. Демонстрируемый математический аппарат обеспечивает получение исходных данных для расчета коэффициента технической го-

товности автопарка [5], оценки надежности перевозки грузов автомобильным транспортом [6], позволяет рассчитать производительность ЭАК при любом количестве используемых экскаваторов и автосамосвалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аникин К. В. Исследование влияния длины рабочего фронта и ширины рабочей площадки на уступе на производительность экскаваторно-автомобильного комплекса оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. Вып. 2. — М.: МГУ, 2011. — С. 147–155.
2. Анистратов Ю. В. Технология открытых горных работ: Учеб. пособие. — М.: Недра, 1984. — 287 с.
3. Гавришев С. Е., Галкин В. А., Кравчук И. Л., Макаров А. М. и др. Согласование производительности звеньев экскаваторно-автомобильного комплекса // Горный журнал. — 1989. — № 9. — С. 82–84.
4. Галкин В. А. Технологические основы проектирования и планирования грузопотоков на рудных карьерах с автомобильным транспортом / — Дис... док. техн. наук. — Магнитогорск, 1987. — 290 с.
5. Грязнов М. В. Подходы к надежности транспортных систем // Мир транспорта. — 2010. — № 2. — С. 14–19.
6. Курганов В. М., Грязнов М. В. Как повысить КТГ автопарка // Мир транспорта. — 2011. — № 3. — С. 106–117.
7. Макаров А. М. Повышение эффективности технологического автомобильного транспорта оперативным управлением подсистем карьера / Дис... канд. техн. наук. — Челябинск, 1990. — 159 с.
8. Нещетаев А. Г., Хотинский А. М. Аналитическая модель расчета производительности системы «экскаватор — транспортные средства» // Вестник КузГТУ. — 1998. — № 4. — С. 70–71.





102

9. Пастихин Д. В., Топилов Н. У. Влияние конструкции рабочего борта карьера на производительность экскаваторно-автомобильного комплекса оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. Вып. 1. – М.: МГУ – 2010. – С 185–192.

10. Работа экскаваторов участка «вскрышной» в период месячника повышенной производительности // Уголь – 2011. – № 2. – С. 26–32.

11. Ракишев Б. Р., Мухамеджанов Е. Б., Саменов Г. К., Куттыбаев А. Е. Установление границ применения экскаваторно-автомобильных комплексов

различной мощности в глубоких карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. Вып. 7. – М.: МГУ, 2012. – С 90–98.

12. Ржевский В. В. Открытые горные работы: Учебник для вузов. В 2-х частях. Часть 2: Технология и комплексная механизация. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, – 1985. – 549 с.

13. Сысоев А. А., Литвин О. И. Управление количественным составом транспортного звена экскаваторно-автомобильных комплексов // Уголь. – 2009. – № 2. – С. 24–26. ●

PRODUCTIVITY RESOURCES OF EXCAVATOR AND TRUCK COMPLEX

Griaznov, Mikhail V. – Ph.D. (Tech), associate professor of the department of industrial transport of G.I. Nosov Magnitogorsk state technical university, Magnitogorsk, Russia.

Kolobanov, Sergey V. – director of Loga (Isc), Magnitogorsk, Russia.

The problem of defining of the productivity of excavator and truck complexes is especially important for open-cast mines. Different technologies are used for mining, depending on capacity and depth of occurrence, volumes of extraction of the rocks. Frequently the less expensive costs are ensured by the variants of extraction and loading of the minerals by excavators of cycle action and by further carriage by dump-trucks from the stripping front to the storehouse or to the mine dump. The studied scientific task is by its nature rather a transport problem as it is solved via optimization of transportation processes.

The authors substantiate a method of calculation of productivity of excavator and truck complex containing dump-trucks of small capacity (less than 30 tons) and excavators with small capacity bucket (less than 2 cubic meters). The nomogram of productivity of excavator and truck complex, achieved on the basis of well-known study methods and calculation techniques, can be applied first of all at the stage of construction of open-cast mines. The use of the suggested instruments of the control of overburden transportation efficiency will help to adjust the plans of mining at Miheevsky mine and to reduce prime cost of copper ore extraction.

Key words: transportation process, productivity, economics, industrial engineering, excavator and truck complex, transportation of overburden, dump-trucks, channel of delivery, efficiency calculation, time study, resources assessment.

REFERENCES

1. Anikin K.V. Study on the impact of the operation field length and of the operating platform width at the quarry face on the productivity of excavator and truck complex of equipment [Исследование влияния длины рабочего фронта и ширины рабочей площадки на уровне на производительность экскаваторно-автомобильного комплекса оборудования]. Горный информационно-аналитический бюллетень, Iss. 2, Moscow, MGGU, 2011, pp. 147-155.

2. Anistratov Yu.V. Technology of open pit mining. Tutorial [Технология открытых горных работ: Учебное пособие]. Moscow, Nedra publ., 1984, 287 p.

3. Gavrishev S.E., Galkin V.A., Kravchuk I.L., Makarov A.M. et al. Coordination of productivity of the sections of excavator and truck complex [Согласование производительности звена экскаваторно-автомобильного комплекса]. Горный журнал, 1989, No 9, pp. 82-84.

4. Galkin V.A. Technological grounds of designing and planning of truck freight traffic at ore mines [Технологические основы проектирования и планирования грузо-поток на рудных карьерах автомобильным транспортом]. D.Sc. (Tech) thesis, Magnitogorsk, 1987. 290 p.

5. Griaznov M.V. Approach towards Reliability of Systems. *Mir Transporta* [World of Transport and Transportation] Journal, 2010, Vol. 30, No 2, pp 14-19.

6. Kurganov V.M., Griaznov M.V. How to Increase Technical Availability Rate for Vehicle Fleet? *Mir Transporta* [World of Transport and Transportation] Journal, 2011, Vol. 36, No 3, pp 106-117.

7. Makarov A.M. Growth of efficiency of technological motor transport via operation management of open-cast mine subsystems [Повышение эффективности технологического автомобиль-

ного транспорта оперативным управлением подсистем карьера]. Ph.D. (Tech) thesis, Chelyabinsk, 1990, 159 p.

8. Netsvetaev A.G., Hotinskiy A.M. Analytical model of calculation of productivity of the system “excavator – transport vehicles” [Аналитическая модель расчета производительности системы «экскаватор – транспортные средства»]. *Vestnik KuzGTU*, 1998, No 4, pp. 70-71.

9. Pastihin D.V., Topilov N.U. The impact of the pattern of the mining flank of opencast on productivity of excavator and truck complex of equipment [Влияние конструкции рабочего борта карьера на производительность экскаваторно-автомобильного комплекса оборудования]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, Iss. 1, Moscow, MGGU, 2010, pp. 185-192.

10. The work of excavators of the stripping sector during the month of expanded productivity [Работа экскаваторов участка «вскрышной» в период месячника повышенной производительности]. *Ugol*, 2011, No 2, pp. 26-32.

11. Rakishev B.R., Muhamedzhanov E.B., Samenov G.K., Kuttybaev A.E. Definition of the limits of the use of excavator and truck complexes of different capacity in deep open-cast mines [Установление границ применения экскаваторно-автомобильных комплексов различной мощности в глубоких карьерах]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. Iss. 7, Moscow, MGGU, 2012, pp. 90-98.

12. Rzhvskiy V.V. Opencast mining. Textbooks for higher schools [Открытые горные работы: Учебник для вузов]. In 2 parts. Part 2. Technology and complex mechanization [Технология и комплексная механизация]. 4th ed., rev. and enlarged. Moscow, Nedra publ., 1985, 549 p.

13. Sysoev A.A., Litvin O.I. Management of quantitative composition of a transport section of excavator and truck complexes [Управление количественным составом транспортного звена экскаваторно-автомобильных комплексов]. *Ugol*, 2009, No 2, pp. 24-26.

Координаты автора (contact information): Грязнов М. В. (Griaznov M. V.) – gm-autolab@mail.ru; Колобанов С. В. (Kolobanov S. V.) – ooo_log@mail.ru.

Статья поступила в редакцию / article received 28.02.2013

Принята к публикации / article accepted 16.05.2013