

**Вуейкова О.Н., Ларин О.Н.**  
Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет), г. Челябинск  
E-mail: trans@susu.ac.ru

## **ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАРЬЕРНОГО АВТОТРАНСПОРТА**

**В статье представлены технико-эксплуатационные факторы, влияющие на производительность автосамосвалов, используемых для вывоза горнорудной массы из карьеров. Приведены основные зависимости производительности самосвалов от параметров, оказывающих на нее значимое влияние. Предложены способы повышения эффективности работы перевозочного процесса с минимальными затратами на транспортировку.**

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт, автосамосвалы, объем перевозок, производительность, оптимизация транспортного процесса.

Транспортирование горнорудной массы в карьерах является важнейшим звеном единого технологического процесса добычи полезных ископаемых. Основным видом технологического транспорта, применяемого в процессе транспортировки горной руды при добыче полезных ископаемых открытым способом, является автомобильный карьерный самосвальный транспорт.

Автомобильный карьерный транспорт получил широкое распространение на открытых разработках горнодобывающих отраслей во всем мире. Применение автотранспорта в горном деле подтверждает его высокие технико-экономические показатели при использовании в сложных условиях: глубокое или сложное залегание полезных ископаемых, разработка месторождений с ограниченными запасами (при ограничении размеров в плане до 2,5 км) или малым сроком эксплуатации. По оценкам специалистов, автотранспорт рационально использовать в карьерах с небольшими объемами производства (примерно 50...90 млн. т/год) при расстоянии транспортировки грузов 3...5 км.

Основу автомобильного карьерного транспорта составляют самосвалы. Самосвалы имеют несомненные преимущества перед конвейерным транспортом в условиях транспортировки горных пород с разными физико-механическими свойствами. Использование автосамосвалов, в отличие, например, от железнодорожного транспорта, обеспечивает упрощение процесса отвалообразования, есть возможность передвигаться по относительно крутым (4...5° или 8...100%) подъемам автомобильных дорог, что позволяет сокращать длину транспортных коммуникаций. Основные недостатки автотранспорта – это цикличность (как следствие, наличие

порожних пробегов), зависимость от состояния дорог, снижение производительности в сезон дождей, в гололедицу, снегопад, загрязнение атмосферы отработавшими газами, высокие энергоемкость и эксплуатационные затраты.

В современных рыночных условиях деятельность любого предприятия нацелена приносить прибыль, которая определяется соотношением доходов, получаемых при выполнении заданных объемов перевозок горной массы, и расходов на ее транспортирование. Поэтому одной из главных задач является задача повышения эффективности транспортного процесса, которая позволяет прежде всего сократить расходы предприятия и, как следствие, повысить его прибыль.

Повышение эффективности транспортного процесса на автомобильном карьерном транспорте можно осуществлять следующими путями:

- внедрением новых моделей карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности и совершенствованием их конструкции за счет устранения недостатков, выявленных в процессе эксплуатации;

- исследованием закономерностей изменения показателей работы карьерных самосвалов в течение срока их эксплуатации в определенных условиях и рационализацией системы диагностирования, технического обслуживания и ремонта;

- изучением режимов работы и движения автосамосвалов с целью их оптимизации и интенсификации в различных условиях эксплуатации на основе эффективного определения потребности в подвижном составе и рационального распределения его по маршрутам.

Повышение интенсивности эксплуатации карьерных автосамосвалов и оптимизация по-

требности в их количестве с учетом влияния множества эксплуатационных факторов позволят получить экономический эффект при минимальных капитальных вложениях [1].

Факторы, влияющие на формирование условий эксплуатации карьерного транспорта, делятся на две группы:

- 1) факторы, оказывающие существенное влияние на транспортный процесс;
- 2) факторы, практически не влияющие на процесс перевозки грузов.

К факторам, оказывающим существенное влияние на транспортный процесс, относятся горнотехнические, технологические, дорожно-транспортные, климатические.

Климатические условия района: температурные характеристики по сезонам года, величина осадков в жидкой и твердой фазах, максимальная скорость ветра, число дней со скоростью ветра более 15 м/с, число дней с туманами, метелями и гололедом.

Климатические условия влияют на ресурсы автосамосвалов, скоростные режимы движения и режимы работы.

Горнотехнические условия: принятая в проекте схема транспортных коммуникаций, среднее расстояние транспортирования по каждому горизонту, рабочей зоне и в целом по карьере (при условии применения автотранспорта до конца отработки месторождения), высота подъема и спуска груза в пределах рабочей зоны между погрузочными и приемными пунктами; физико-механические свойства перевозимых полезных ископаемых и вскрышных пород – плотность в целике и в разрыхленном состоянии, коэффициент разрыхления в забое, в ковше экскаватора и в кузове автосамосвала, угол естественного откоса, влажность, склонность к слеживанию и прилипанию к днищу и стенкам кузова транспортных средств, гранулометрический состав (размер среднего и максимального куска во взорванной горной массе, выход негабаритных кусков в %), крепость, абразивность [2].

Дорожные условия: тип дорожных покрытий на различных дорожных участках, определяющий величину сопротивления качению колес автосамосвалов, величина продольных и поперечных уклонов на каждом элементе трассы, радиусы поворотов, число поворотов, приходящихся на 1 км трассы, условия формирования грузопотока (однопосное встречное дви-

жение, однопосное кольцевое движение, двух- (трех-) полосное встречное движение).

Схемы движения автотранспорта определяются горнотехническими условиями разработки месторождения и направлением транспортирования полезных ископаемых и вскрышных пород. Связь рабочих горизонтов с поверхностью может осуществляться прямыми, спиральными, петлевыми съездами и их комбинацией [3].

Режим работы карьера и транспорта: число рабочих дней (смен) в году, число смен в сутки, продолжительность смены в часах, перерывы между сменами, число дней простоя транспорта по климатическим условиям; эти данные позволяют определить рабочий годовой фонд времени экскаваторов, автосамосвалов и других машин, рассчитать величину часового, сменного, суточного грузопотока полезного ископаемого и вскрышных пород.

Экономические данные: стоимость оборудования, транспортных коммуникаций, гаражного хозяйства, стоимость их содержания и обслуживания, трудоемкость погрузочно-транспортного и вспомогательных процессов, зарплата основного и обслуживающего персонала, стоимость горюче-смазочных материалов, шин и пр.

Все перечисленные факторы в зависимости от возможности управления ими со стороны предприятия можно разделить на две группы:

1. Не зависящие от организации работы карьера: климатические и географические условия, физико-механические свойства разрабатываемых пород, высота карьера над уровнем моря, направление движения с грузом.

2. Изменяемые путем проведения различных организационных мероприятий добывающими и транспортными организациями: состояние и качество дорог, оснащенность и мощность производственно-технической базы карьера и автотранспортного предприятия, режим работы экскаваторов и автосамосвалов, организация погрузки и разгрузки машин, соотношение экскаваторов и автосамосвалов, степень износа погрузочных и транспортных машин.

Областью исследования является определение оптимального количества единиц подвижного состава и производительности каждого самосвала в отдельности в зависимости от перечисленных выше факторов.

Отбор факторов проводился на основании информации, собранной непосредственно с мест

эксплуатации автомобильного карьерного транспорта [4]. В качестве объектов сбора экспериментальных данных об объемах перевозок горнорудной массы и времени, затрачиваемого на один рейс, являлись четыре карьера, эксплуатирующие различные типы большегрузных самосвалов.

Обработка статистических данных позволила выделить основные наиболее значимые факторы, влияющие на работу автотранспорта:

- расстояние транспортирования горной массы  $L$ ;

- скорость движения  $v$ ;

- время движения за 1 рейс  $t_{опер.}$ .

В результате исследований установлены зависимости производительности автосамосвалов от расстояния транспортирования, скорости движения и времени, затрачиваемого на выполнение операций загрузки-разгрузки самосвала, подъезда под погрузку, разгрузку, ожидания погрузки (время на операции).

Полученные регрессионные модели зависимости производительности  $Q$  от перечисленных выше факторов представлены формулами (1–3) соответственно:

$$Q = -883,68 \cdot L + 5760,821, \quad (1)$$

$$Q = -110692 \cdot v + 506696, \quad (2)$$

$$Q = -81,97 \cdot t_{опер.} + 3047,471. \quad (3)$$

Из уравнения (1) следует, что при увеличении расстояния на 1 км производительность уменьшится в среднем на 883,68 т/см.

Уравнение (2) показывает, что для увеличения сменной производительности самосвала необходимо увеличить скорость движения самосвала. Увеличение скорости на 1 км/ч приведет к росту производительности почти на 111 т/см.

Время, затрачиваемое на погрузку-разгрузку самосвала, зависит от его грузоподъемности и объема ковша экскаватора. Время, необходимое для подъезда под погрузку и разгрузку, зависит от схемы подъезда. Простой транспорта при ожидании погрузки и разгрузки также определяют время на операции. Рассматривая уравнение (3), можно отметить, что уменьшение времени на операции с самосвалом хотя бы на 1 минуту позволит увеличить производительность на 82 т/см.

Для определения тесноты связи зависимости производительности от перечисленных выше факторов были рассчитаны коэффициенты корреляции. Коэффициент корреляции между производительностью и расстоянием транспорти-

ровки, а также временем операций равен  $-0,98$  и  $-0,97$  соответственно, между производительностью и скоростью движения – равен  $0,98$ . Определение этого коэффициента позволяет сделать вывод о линейности рассматриваемых функциональных зависимостей.

На рисунках 1–3 графически представлены зависимости производительности от расстояния транспортирования, скорости движения и времени операций.

Совместное влияние факторов оказывает значимое влияние на производительность самосвалов и, следовательно, на эффективность транспортного процесса.

Многофакторная модель, описывающая совместное влияние основных факторов на производительность самосвалов, является более точной. Как было установлено ранее, наиболее значимые факторы, влияющие на производительность, – это расстояние транспортирования, скорость движения, время на операции. Для описания закономерности влияния рассмотрены две двухфакторные модели.

Формула (4) показывает совместное влияние на производительность расстояния транспортирования горнорудной массы и скорости движения автосамосвала:

$$Q = -2704,897 - 714 \cdot L + 137 \cdot v. \quad (4)$$

При увеличении расстояния транспортирования на 1 км при постоянной скорости производительность уменьшится на 714 т/см, а при увеличении скорости движения самосвала на 1 км/ч при неизменном расстоянии транспортирования производительность увеличится на 137 т/см.

Формула (5) описывает совместное влияние расстояния транспортирования и времени на операции на производительность самосвала:

$$Q = -5676,712 - 682 \cdot L - 97 \cdot t_{оп.} \quad (5)$$

Исследование данной модели показывает, что при увеличении расстояния на 1 км при неизменном времени на операции производительность упадет на 682 т/см, а увеличение времени на операции при постоянном расстоянии транспортирования приведет к уменьшению производительности только на 97 т/см.

Добавление в однофакторную модель новых факторов изменило коэффициент регрессии с  $-883,68$  по формуле (1) до  $-714$  по формуле (4) и до  $682$  по формуле (5). В двухфакторной модели коэффициент регрессии позволяет

оценить снижение производительности при изменении на единицу расстояния транспортирования в чистом виде, независимо от скорости движения самосвала по формуле (4) или време-

ни на операции по формуле (5). В случае однофакторной модели коэффициент регрессии учитывает воздействие на производительность не только расстояния транспортирования, но и

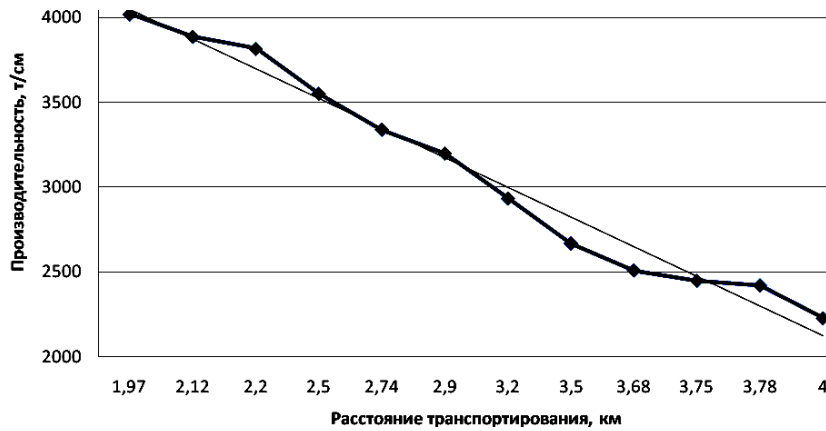


Рисунок 1. Графический вид зависимости производительности от расстояния транспортирования

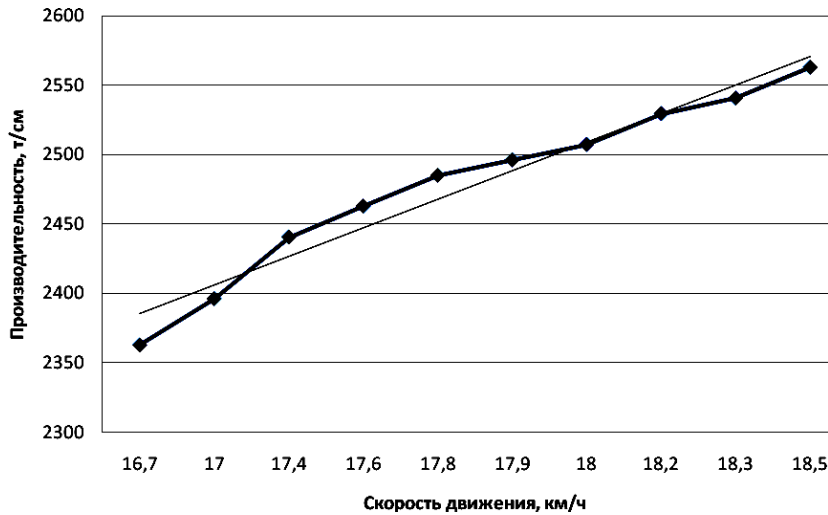


Рисунок 2. Графический вид зависимости производительности от скорости движения

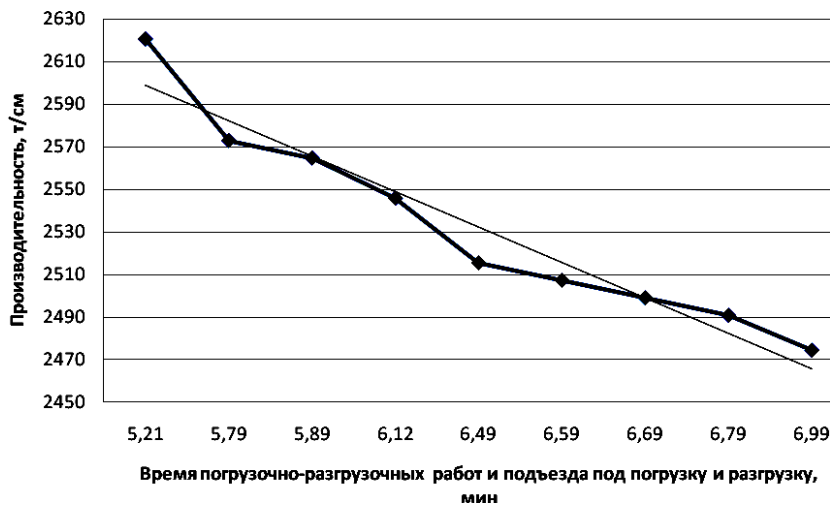


Рисунок 3. Графический вид зависимости производительности от времени операций с самосвалом

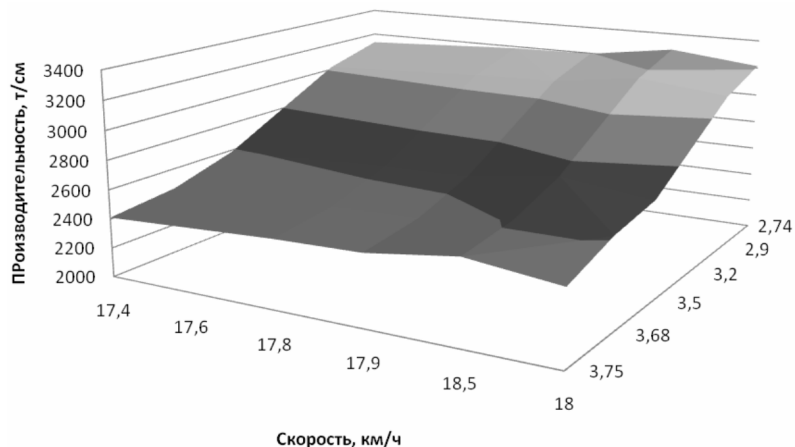


Рисунок 4. Графический вид зависимости производительности от расстояния транспортирования и скорости движения

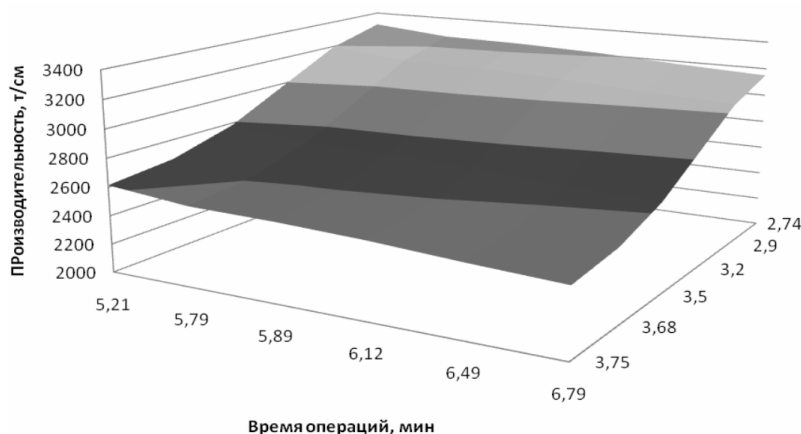


Рисунок 5. Графический вид зависимости производительности от расстояния транспортирования и времени операций с самосвалом

косвенно корреляционно связанной с ней скоростью движения или времени операций.

На рисунке 4 представлен графический вид зависимости производительности от совместного влияния расстояния транспортирования и скорости движения, на рисунке 5 – от расстояния транспортирования и времени операций.

Рассмотренные в статье зависимости использованы авторами при решении следующих задач:

1. При разработке новых методов расчета потребности количества подвижного состава при разработке карьеров открытым способом.

2. При разработке математической модели с целью ее применения на этапе проектирования и эксплуатации карьерного автотранспорта в реальных производственных условиях.

3. При разработке компьютерной программы по моделированию работы подвижного состава при транспортировке горнорудной массы, оптимизации маршрутов транспортировки и количества подвижного состава по критерию минимальных затрат на вывоз пород от пункта погрузки до пункта разгрузки.

5.05.2011

**Список литературы:**

1. Ларин, О.Н. Факторный анализ производительности карьерного автотранспорта Сарбайского карьера АО «ССПО» / О.Н. Ларин, О.Н. Вусейкова // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – №1. – С. 29–32.
2. Мариев, П.Л. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы / П.Л. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов. – СПб.: Наука, 2004. – 429 с.
3. Васильев, М.В. Транспорт глубоких карьеров / М.В. Васильев. – М.: Недра, 1981. – 295 с.
4. Резниченко, С.С. Математические методы и моделирование в горной промышленности / С.С. Резниченко, А.А. Анихмин. – М.: МГУ, 2001. – 400 с.

Научная статья подготовлена при поддержке Федеральной целевой программы  
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы»  
(№16.740.11.0520)

Сведения об авторах:

**Вуейкова Ольга Николаевна**, соискатель кафедры эксплуатации автомобильного транспорта  
Южно-Уральского государственного университета

**Ларин Олег Николаевич**, заведующий кафедрой эксплуатации автомобильного транспорта  
Южно-Уральского государственного университета, доктор технических наук, доцент  
г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, тел. (351)267-94-16, e-mail: larin\_on@mail.ru; trans@susu.ac.ru

**UDC 656.13**

**Vuyeykova O.N., Larin O.N.**

South Ural State university, e-mail: trans@susu.ac.ru

**THE PROBLEM OF ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF THE CAREER OF MOTOR TRANSPORT**

This article presents technical and operational factors that affect the performance of autodumpers used for the removal of mines and quarries of the masses. The main performance parameter from dump trucks, having an influence on it. Proposed ways to improve the efficiency of the transportation process with minimal transportation.

Key words: road transport, trucks, traffic volume, productivity, optimizing the transport process.

Bibliography:

1. Larin, O.N. Factor analysis of the performance Vehicles of Sarbaysky quarry JSC «SSGPO» / O.N. Larin, O.N. Vuyeykova // Transport: Science, Technique, Management – 2011. – №1. – P. 29–32.
2. Mariev, P.L. Vehicles of quarry: Status and Prospects / P.L. Mariev, A.A. Kuleshov, A.N. Egorov, I.V. Zyryanov. – SPb.: Science, 2004. – 429 p.
3. Vasil'ev, M.V. Transport of deep quarry / M.V. Vasil'ev. – M.: Subsoil, 1981. – 295 p.
4. Reznichenko, S.S. Mathematical Methods and Modeling in the mining industry / S.S. Reznichenko, A.A. Anikhmin. – M.: MGGU, 2001. – 400 p.