

В.Н. Евсеев, А.А. Вареничев

АВТОСАМОСВАЛЫ НА КАРЬЕРАХ

На мировом рынке горной техники самые большие карьерные самосвалы представлены фирмами Caterpillar (США), Komatsu (Япония), Hitachi (Япония), Terex (Великобритания), БЕЛАЗ (Беларусь), BEML (Индия), Perlini (Италия), BZK (Китай), Astra (Италия). Из них можно выделить несколько самых больших и наиболее выдающихся самосвалов. Несмотря на то, что сектор применения их очень специфичен и ограничен, а стоимость каждого самосвала составляет несколько миллионов долларов, конкуренция среди них очень высока. Определяющим параметром является — грузоподъемность. Отдельные представители тяжелой техники за один раз способны перевезти в своем кузове более 350 т породы, работая круглые сутки, без выходных. Широко представлен ряд автосамосвалов БелАЗ различной грузоподъемности. Приводятся различные методики выбора грузоподъемности самосвала в зависимости от объема ковша экскаватора.

Ключевые слова: самосвал, грузоподъемность, экскаватор, производительность, карьер, надежность, ресурс, стоимость.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-30-36

Основным видом технологического транспорта при добыче полезных ископаемых открытым способом остается автомобильный. Он используется для перевозки примерно 80% всей горной массы во всем мире, в т.ч. в США и Канаде — 85%, в Южной Америке — 85%, в Австралии — почти 100%, в Южной Африке — более 90%. В России и странах СНГ удельный вес карьерного автотранспорта с учетом всех подотраслей горнодобывающей промышленности приблизился к 75% и в ближайшей перспективе будет расти за счет расширения открытого способа добычи угля [1]. Проведенный анализ развития открытых горных работ в России позволил определить ориентировочные объемы перевозок горной массы по основным подотраслям горнодобывающей промышленности. Согласно этим данным объемы перевозок автотранспортом в угольной подотрасли в 2015 г. составят около 640 млн т. При этом объемы в железорудной подотрас-

ли и цветной металлургии останутся постоянными и составят соответственно 478 млн т и 518 млн т.

Самосвалы карьерные, имеют некоторые преимущества перед конвейерным транспортом в условиях транспортировки горной массы. При этом в отличие, например, от железнодорожного транспорта, использующего саморазгружающиеся вагоны, использование карьерных самосвалов упрощает процесс отвалообразования, и дает возможность передвигаться по относительно с крутым уклоном автодорогам при этом сокращаются длины транспортных коммуникаций. Основные недостатки автотранспорта, используемого в горных и специальных разработках — цикличность работы, зависимость от состояния дорог, снижение производительности в сезон дождей, в гололедицу, снегопад.

Автомобильный транспорт, как транспорт рабочей зоны карьера, в наибольшей степени подвержен воздействию

усложняющихся с глубиной горно-технических условий разработки. Основным ограничением применения автомобильного транспорта на глубоких карьерах по-прежнему остается высокая себестоимость перевозки горной массы. Кроме того, карьерный автомобильный транспорт является основным источником негативного антропогенного воздействия на окружающую среду при открытых горных работах.

В настоящий момент на мировом рынке горной техники самые большие карьерные самосвалы представлены фирмами Caterpillar (США), Komatsu (Япония), Hitachi (Япония), Terex (Великобритания), БелАЗ (Беларусь), BEML (Индия), Perlini (Италия), BZK (Китай), Astra (Италия). Из всего многообразия техники, можно выделить несколько самых больших и наиболее выдающихся самосвалов.

И, несмотря на то, что сектор применения их очень специфичен и ограничен, а стоимость каждого самосвала составляет несколько миллионов долларов, конкуренция среди них очень высока. Определяющим параметром является — грузоподъемность. Так, отдельные представители тяжелой техники за один раз способны перевезти в своем кузове более 350 т породы работая круглые сутки, без выходных [2].

Японский Komatsu 930E-3SE в импортизированной четверке самых больших машин можно поставить на четвертое место. Komatsu 930E-3SE — флагман японского производителя тяжелой техники, полная масса автомобиля — 504 т, а мощность двигателя — 3500 л.с. Автомобиль длиной чуть менее 15,5 м, способен перевозить до 290 т груза. Он оснащен 18-ти цилиндровым турбодизельным двигателем мощностью 3500 л.с. Максимальная скорость Komatsu 930E-3SE составляет 64,5 км/ч [3].

Надежно занимает 3-е место БелАЗ 75600, который входит в элитный класс

300-тонных карьерных самосвалов. Его максимальная грузоподъемность составляет 320 т, а полная масса загруженного автомобиля — 560 т. В качестве силового агрегата на БелАЗе используется 18-ти цилиндровый V-образный турбодизель Cummins QSK78-C объемом 77,6 л. Номинальная мощность двигателя — 3546 л.с. Схема силовой установки — комбинированная с генератором переменного тока и двумя тяговыми электродвигателями фирмы Siemens мощностью по 1200 кВт каждый. Максимальная скорость автомобиля — 64 км/ч. Средний расход топлива в час колеблется у отметки 500—550 л солярки в час, так что стандартного 4375-литрового бака хватит как раз на рабочую смену.

На втором месте заслуженно обогновался представитель наиболее известного производителя тяжелой техники — Caterpillar 797B. Он с полной массой почти 624 т, способен взять на борт 345 т груза. Caterpillar 797B построен по традиционным канонам: заднеприводный автомобиль с передними управляемыми колесами, турбодизельным двигателем и гидромеханической трансмиссией. Силовой агрегат у Caterpillar 797B выдающийся: 24 цилиндра, 117 л рабочего объема, 3550 л.с. и 16 000 Нм крутящего момента. От двигателя крутящий момент (больше 16 000 Нм) через короткий карданный вал передается в самую большую коробку переключения передач в мире! Гидромеханическая планетарная коробка имеет 7 ступеней и управляется компьютером. Вообще Caterpillar 797B по праву считается одним из самых напичканных электроникой карьерных самосвалов. Caterpillar 797B обладает несколькими рекордами: самый большой двигатель — 117 л рабочего объема и 24 цилиндра; самая большая трансмиссия, самая большая максимальная скорость — почти 68 км/ч; самый вместительный топливный бак — 6800 л.

Но все-таки первое место занимает Liebherr-T282B. Восьмое чудо света. Именно так прозвали Liebherr-T282B во время премьеры на строительной выставке в Германии. Грузоподъемность — 363 т. Больше груза, чем Liebherr-T282B пока не может взять на борт ни один грузовик в мире. При этом его снаряженная масса на 50 т меньше чем у Caterpillar 797B — 230 т против 280 т у американца. Именно по способности перевезти как можно больше груза при наименьшей собственной массе оценивается совершенство конструкции, и по этому параметру Liebherr-T282B превосходит всех своих конкурентов. Автомобиль может комплектоваться двумя двигателями: либо 18-ти цилиндровым Cummins QSK 78 (как на БелАЗ-75600) либо более мощной «двадцаткой» Detroit Diesel, объемом 90 л, мощностью 3650 л/с. Схема силовой установки классическая для карьерных самосвалов — двигатель приводит в действие генератор переменного тока, а тяговой силой являются электромоторы Siemens. В отличие от других самосвалов, где одна гидравлическая система обслуживает, рулевое управление, тормоза и систему опрокидывания кузова, здесь две первых системы снабжены собственным независимым контуром.

На российских горных предприятиях и предприятиях других стран СНГ наибольшее применение получили автосамосвалы фирмы БелАЗ, Caterpillar, Komatsu, Hitachi, Terex. [4].

Расширение типоразмерного ряда, разработанного БелАЗом, связано с появлением на рынке стран СНГ автосамосвалов производства зарубежных фирм с грузоподъемностью 90, 136 и 154 т. В условиях жесткой конкуренции это потребовало разработки соответствующих моделей самосвалов в ПО «БелАЗ», чтобы в большей степени удовлетворять требованиям горнодобывающих предприя-

тий. Следует отметить, что в ПО «БелАЗ» за сравнительно короткий период разработаны новые модели самосвалов БелАЗ-7547, БелАЗ-7528, БелАЗ-7555, БелАЗ-75131 и БелАЗ-75306 и их модификаций грузоподъемностью соответственно 36, 45, 55—65, 130 и 220 т, а также опытные образцы с шарнирно-сочлененной рамой грузоподъемностью 36 и 280 т [5, 6]. На заводе разработан план модернизации, создания и внедрения новой техники на перспективу. При этом осваиваемые производством модели соответствуют мировым тенденциям развития средств карьерного транспорта, в их конструкции используются достижения российских и зарубежных фирм, поставляющих надежные агрегаты, узлы и материалы [7].

В 2012 г. линейка выпускаемой продукции пополнилась новыми моделями карьерной техники:

- БелАЗ-75453 — карьерный самосвал грузоподъемностью 45 т с экономичным двигателем мощностью 600 л.с.;
- БелАЗ-7558 — карьерный самосвал грузоподъемностью 90 т с двигателем мощностью 1050 л.с.;
- БелАЗ-75180 — карьерный самосвал грузоподъемностью 180 т с двигателем мощностью 2000 л.с.;
- БелАЗ-7530С — карьерный самосвал грузоподъемностью 220 т с высокоэффективным двигателем мощностью 2300 л.с.;
- БелАЗ-75315 — карьерный самосвал грузоподъемностью 240 т с высокоэффективным двигателем мощностью 2500 л.с.;
- БелАЗ-75603 — карьерный самосвал грузоподъемностью 360 т с высокоэффективным двигателем мощностью 3500 л.с.;
- БелАЗ-75710- карьерный самосвал грузоподъемностью 450 т, который относится к классу супертяжелых самосвалов.

Надежность карьерных самосвалов БелАЗ с гидромеханической трансмиссией в классах грузоподъемности 30–55 т существенно отстает от мирового уровня. Так, анализ показателей работы самосвалов БелАЗ-7555 показывает, что после трех лет эксплуатации месячная наработка среднесписочной машины не превышает 400 ч ($k_{\text{исп}} < 55\%$). То есть годовая наработка среднесписочной 55-тонной трехлетней машины не превышает 5000 ч. При оптимальном сроке службы 4,5–5 лет (наработка на линии за срок службы 30–35 тыс. ч).

Конструкции современных самосвалов ведущих мировых производителей обеспечивают наработку на линии в течение первых 5–7 лет не ниже 600 ч/мес. ($k_{\text{исп}} > 80\%$), что соответствует годовой наработке более 7200 ч. Оптимальный срок службы самосвалов класса Caterpillar-777, Komatsu785D, TerexTR100 составляет 10–12 лет (при наработке на линии за срок службы 60–70 тыс. ч).

На современном высоко конкурентном мировом рынке операторы карьеров могут позволить себе выбрать лишь наиболее мощные и самые эффективные самосвалы, с низкими эксплуатационными расходами и высокой надежностью. Эти особенности в первую очередь зависят от трансмиссии самосвала, как основного компонента в цепочке, влияющего на формирование стоимости тонны перевозимого груза. Современные тенденции — явно в сторону сокращения времени цикла, более высоких нагрузок и сокращения стоимости. Это обязывает иметь большие, надежные самосвалы, которые работают в экстремальных условиях, от +55 до –60 °С, в карьерах с высокой запыленностью и сложными дорожными условиями.

Проведенные исследования и экономические расчеты [8, 9] подтверждают, что инвестиционные проекты, связанные с приобретением машин мирового

класса и высокими затратами в начальном периоде, по основным критериям эффективности представляются более привлекательным, чем менее затратные проекты (связанные с приобретением автосамосвалов БелАЗ) благодаря высокой производительности наработки на линии каждой транспортной единицы в течение всего срока ее службы.

На горных предприятиях России в основном работают экскаваторно-автомобильные комплексы (ЭАК) мощностью 1,5–2,5 млн м³ в год, состоящие из карьерных экскаваторов типа ЭКГ с ковшами вместимостью 8–12 м³ и самосвалов грузоподъемностью 42–55 т. При этом, учитывая большой срок службы электрических канатных экскаваторов (20 лет и более), в ближайшие 10 лет доля этого класса экскаваторов будет на уровне не менее 50% общего парка.

Выбор оптимального вида транспорта является сложной инженерной задачей. Определение производительности экскаваторно-автомобильного комплекса зависит от мощности и глубины залегания, объема добычи и других параметров.

Существует множество методик оптимизации транспортных процессов. Применительно к различным горно-геологическим условиям они имеют свою специфику. Так, например, для строящегося карьера в Челябинской области авторы обосновывают способ расчета производительности экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК), в составе которого задействованы автосамосвалы малой (до 30 т) грузоподъемности и экскаваторы с небольшой (до 2 м³) вместимости ковша [10].

При выборе типа карьерного автосамосвала для кимберлитовых карьеров Якутии учитывалась динамика изменения технико-эксплуатационных показателей работы большегрузных карьерных автосамосвалов АК «АЛРОСА» (ОАО) [11].

Для нагорных карьеров при выборе оптимального и рационального вида транспорта в качестве основного критерия для выбора предложены суммарные дисконтированные затраты, на основании которых осуществлялся оптимальный (по одному критерию эффективности) или рациональный (по совокупности критериев) выбор вариантов [12].

Исследования показателей работы карьерных самосвалов различных производителей на отечественных и зарубежных карьерах указывают на экономическую целесообразность формирования парков карьерных автосамосвалов грузоподъемностью 90 т для работы с экскаваторами, оснащенными ковшами

емкостью 8–12 м³ [13, 14]. Для приобретения и поставки машин необходимо провести технологический аудит автомобильного транспорта, который позволит провести анализ горнотехнических условий и условий транспортирования горной массы; системы учета и контроля технико-экономических показателей эксплуатации всего горнодобывающего предприятия и технологического автотранспорта.

Большой опыт работы в этой области накоплен в ИГД УрО РАН, где разработана методика формирования оптимальной структуры парка большегрузных самосвалов в автохозяйствах карьеров [15, 16, 17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В., Мариев П. Л. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. — СПб.: Наука, 2004. — 429 с.
2. Карьерные самосвалы Hitachi // Автомобильный транспорт. — 2013. — № 5. — С. 6–8.
3. Обзор грузовых автомобилей // Вести НГИЭИ. 2013. — № 2. — С. 66–84.
4. Анистратов К. Ю. // Горная промышленность. — 2010. — № 5 (93). — С. 26.
5. Продукция холдинга компании «БелАЗ» // Грузовик. — 2013. — № 5. — С. 2–30.
6. Новинки от Четыр // Основные средства. — 2013. — № 6. — С. 34.
7. Мариев П. Л., Егоров А. Н., Клименюк В. И. БелАЗ — горному производству // Горный журнал. — 2000. — № 1. — С. 21–24.
8. Щадов М. И., Анистратов К. Ю., Фёдоров А. В. Метод формирования структуры парка карьерной техники на действующем предприятии // Горная промышленность. — 2009. — № 5 (87). — С. 10–13.
9. Анистратов К. Ю., Стремилов В. Я., Тетерин М. В. Экономико-математическая модель функционирования предприятия технологического карьерного автотранспорта // Горная промышленность. — 2007. — № 2. — С. 16–18.
10. Грязнов М. В., Колобанов С. В. Ресурсы производительности экскаваторно-автомобильного комплекса // Мир транспорта. — 2013. — № 3.
11. Зырянов И. В., Решетников С. В. К вопросу о выборе вида карьерных автосамосвалов для кимберлитовых карьеров Якутии // Горное оборудование и электромеханика. — 2014. — № 5. — С. 22–25.
12. Волков Е. С., Косолапов А. И., Плютов Ю. А. Оценка эффективности эксплуатации транспортных машин в условиях нагорных карьеров // Известия вузов. Горный журнал. — 2012. — № 7. — С. 4–7.
13. Карьерная техника ПО «БелАЗ»: Справочник / Под ред. П. Л. Мариева, К. Ю. Анистратова. — М.: ООО «НТЦ Горное дело», 2007. — 456 с.
14. Козярук А. Е., Таранов С. И., Самолазов А. В. Направления повышения эффективности эксплуатации экскаваторно-автомобильных комплексов на открытых горных работах // Горное оборудование и электромеханика. — 2014. — № 1. — С. 6–11.
15. Корнилов С. В., Глебов А. В. Технологический аудит процесса перевозки горной массы на горнодобывающих предприятиях / Проблемы карьерного транспорта. Материалы X международной научно-практической конференции 14–16 октября 2009 г. ИГД УрО РАН. — Екатеринбург: Изд-во Уро РАН, 2009. — С. 117–121.

16. Глебов А. В., Кармаев Г. Д. Основные принципы формирования автомобильного парка горнодобывающего предприятия // Горное оборудование и электромеханика. — 2010. — № 7. — С. 37–41.

17. Глебов А. В. Методика оценки уровня потребительских качеств и конкурентоспособности геотехники (на примере карьерных автосамосвалов) // Горное оборудование и электромеханика. — 2008. — № 5. — С. 49–55. **РИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Евсеев Владимир Николаевич¹ — кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

Вареничев Анатолий Алексеевич¹ — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, зав. Отделением наук о Земле, e-mail: avar@viniti.ru,

¹ Всероссийский институт научной и технической информации РАН Федерального агентства научных организаций.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 8, pp. 30–36.

UDC 622.684

V.N. Evseev, A.A. Varenichev

AUTO DUMP QUARRIES

Currently the world market of mining equipment biggest dump trucks represented companies Caterpillar (USA), Komatsu (Japan), Hitachi (Japan), Terex (UK), BelAZ (Belarus), BEML (India), Perlini (Italy), BZK (China), Astra (Italy). Of the variety of equipment, there are several largest and most prominent trucks. And despite the fact that their sector of application is very specific and limited, and the cost of each truck is a few million dollars, the competition among them is very high. The decisive parameter is the — load. Thus, some representatives of heavy equipment at a time is able to transport his body in more than 350 tons of rock, working round the clock, seven days a week. Widely it presented a number of BelAZ dump trucks of different carrying capacity. The various methods of choice-duty truck, depending on the volume of excavator bucket.

Key words: truck, load, excavator, performance, careers, reliability, service life, cost.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-30-36

AUTHORS

Evseev V.N.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,

Varenichev A.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Department of Earth Sciences, e-mail: avar@viniti.ru,

¹ All-Russian Institute for Scientific and Technical Information of Russian Academy of Sciences Federal Agency Scientific Organizations, 125190, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Kuleshov A. A., Egorov A. N., Zyryanov I. V., Mariev P. L. *Kar'ernyy avtotransport: sostoyanie i perspektivy* (Vehicles career: status and prospects), Saint-Petersburg, Nauka, 2004, 429 p.
2. Kar'ernyye samosvaly Hitachi. *Avtomobil'nyy transport*. 2013, no 5, pp. 6–8.
3. Obzor gruzovykh avtomobiley. *Vesti NGIEI*. 2013, no 2, pp. 66–84.
4. Anistratov K. Yu. *Gornaya promyshlennost'*. 2010, no 5 (93), pp. 26.
5. Produktsiya kholdinga kompanii «BelAZ». *Gruzovik*. 2013, no 5, pp. 2–30.
6. Novinki ot Chetry. *Osnovnye sredstva*. 2013, no 6, pp. 34.

7. Mariev P. L., Egorov A. N., Klimenyuk V. I. *Gornyy zhurnal*. 2000, no 1, pp. 21–24.
8. Shchadov M. I., Anistratov K. Yu., Fedorov A. V. *Gornaya promyshlennost'*. 2009, no 5 (87), pp. 10–13.
9. Anistratov K. Yu., Stremilov V. Ya., Teterin M. V. *Gornaya promyshlennost'*. 2007, no 2, pp. 16–18.
10. Gryaznov M. V., Kolobanov S. V. *Mir transporta*. 2013, no 3.
11. Zyryanov I. V., Reshetnikov S. V. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2014, no 5, pp. 22–25.
12. Volkov E. S., Kosolapov A. I., Plyutov Yu. A. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2012, no 7, pp. 4–7.
13. *Kar'ernaya tekhnika PO BelAZ: Spravochnik*. Pod red. P. L. Marieva, K. Yu. Anistratova (Career technician BelAZ. Handbook. Mariev P. L., Anistratov K. Yu. (Eds.)), Moscow, OOO «NTTs Gornoe delo», 2007, 456 p.
14. Kozyaruk A. E., Taranov S. I., Samolazov A. V. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2014, no 1, pp. 6–11.
15. Kornilov S. V., Glebov A. V. *Problemy kar'ernogo transporta. Materialy X mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 14–16 oktyabrya 2009 g.* IGD UrO RAN (Proceedings of the X International scientific-practical conference on 14–16 October. 2009. IGD UB RAS), Ekaterinburg, Izd-vo Uro RAN, 2009, pp. 117–121.
16. Glebov A. V., Karmaev G. D. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2010, no 7, pp. 37–41.
17. Glebov A. V. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2008, no 5, pp. 49–55.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

**ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ КРЕПИ ШАХТНОГО СТВОЛА
РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ
ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА ПОРОД**

(№ 1097/08-17 от 23.05.2017, № 1098/08-17 от 23.05.2017; 4 с.)

Кондратенко Валерий Ерофеевич¹ — кандидат технических наук, доцент,
Девятьярова Виктория Викторовна¹ — доцент, e-mail: vikdev@yandex.ru,

¹ НИТУ «МИСиС».

Приведены результаты расчета вертикальных перемещений крепи шахтного ствола, работающего в условиях значительной деформации вмещающего массива пород. Расчетная схема крепи представлена цилиндрической оболочкой находящейся под действием радиальных и вертикальных нагрузок. Полученные результаты сопоставлены с формулами для расчетной схемы стержня. Установлено, что при вычислении вертикальных перемещений колонны крепи ствола допустимо использовать расчетную схему стержня.

Ключевые слова: крепь, ствол, вертикальные перемещения, оболочка, нагрузка.

**JUSTIFICATION OF DESIGN SCHEME SHAFT LINING
FOR SHAFTS OPERATED UNDER SIZABLE STRAINS
OF CONTAINING ROCK MASS CONDITIONS**

Kondratenko V.E.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Devyatyarova V.V.¹, Assistant Professor, e-mail: vikdev@yandex.ru,

¹ National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

In the article are given the results of the shafts lining's vertical displacements calculations, for shafts operated under sizable strains of containing rock mass conditions. Lining's loading diagram poses as a cylindrical shell under vertical and horizontal loads. The results were compared to equations for rod computational model. Has been found, that for calculations of the shaft's lining column vertical displacements is permissible to use the rod computation model.

Key words: shaft lining, vertical displacements, shell, load.