

УДК 622.68

DOI: 10.12737/article\_5ac49dc82bfc10.79665416

С.В. Подболотов, А.Д. Кольга

## ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭКСКАВАТОРНО-АВТОМОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

Приведен анализ работы экскаваторно-автомобильных комплексов в карьерах и рассмотрены возможные пути повышения эффективности их использования. Установлено, что одним из путей повышения производительности может стать уменьшение времени загрузки автосамосвалов за счет сокращения числа циклов погрузки экскавато-

ра, на основе применения мощных экскаваторов (с большим объемом ковша) и автосамосвалов небольшой грузоподъемности.

**Ключевые слова:** автосамосвал, экскаватор, производительность, грузоподъемность, время цикла, объем ковша, объем кузова, выносные опоры, открытые горные работы.

S.V. Podbolotov, A.D. Kolga

## EFFICIENCY INCREASE POTENTIALITIES OF EXCAVATOR-MOTOR CAR COMPLEXES IN OPEN PIT MINING

The analysis of excavator-motor car complexes work in pen pits is carried out and potentialities for their use efficiency increase are considered. It is defined that one of the ways for efficiency increase may be time decrease for dump truck loading at the expense of cycle number decrease of excavator loading on the

basis on powerful excavator use (with large bucket capacity) and dump trucks of small carrying capacity.

**Key words:** dump truck, excavator, productivity, carrying capacity, cycle time, bucket capacity, body space, outriggers, open pit mining.

### Введение

На многих карьерах технико-экономические показатели открытой разработки определяются в первую очередь процессом перемещения вскрышных пород и полезного ископаемого. В настоящее время затраты на транспорт при открытой разработке месторождений полезных ископаемых достигают 50-70% от всех затрат на добычу полезного ископаемого [1].

Поскольку в современных рыночных условиях деятельность любого предприятия нацелена на достижение максимальной прибыли, которая определяется соотношением доходов, получаемых при выполнении заданных объемов перевозок горной массы, и расходов на ее транспортирование, одной из главных задач является задача повышения эффективности транспортного процесса, что позволит сократить расходы предприятия и, как следствие, повысить его прибыль.

Основным видом технологического транспорта на открытых горных работах является автомобильный транспорт. В

США, Канаде, Южной Америке с помощью автосамосвалов перевозится более 85% горной массы, а в Австралии – практически 100%. В России и странах СНГ доля автотранспорта превышает 75% и имеет тенденцию к увеличению [2].

При этом в настоящее время основным путем повышения производительности экскаваторно-транспортных комплексов является внедрение новых моделей экскаваторов (увеличение мощности (объема ковша)) и карьерных самосвалов большой и особо большой грузоподъемности.

В 2010 г. на предприятиях Кузбасса введены в эксплуатацию первые самосвалы БелАЗ-75600 грузоподъемностью 320 т. Осенью 2013 года выпущен и эксплуатируется на угольном разрезе «Черниговец» (г. Берёзовский Кемеровской области) первый экземпляр самого большого в мире самосвала БелАЗ-75710 грузоподъемностью 450 тонн (рис. 1).



Рис. 1. БелАЗ 75710

Самым большим экскаватором в мире на сегодняшний день является экскаватор RH400 американской фирмы Terex. При весе более 1000 тонн (абсолютный рекорд) экскаватор обладает ковшем 45 куб. метров и грузоподъемностью 95 тонн. За час работы этот гигант способен выкопать и погрузить около 10 тыс. тонн породы (рис. 2).

В настоящее время на рынке горных машин уже наблюдается спрос на экскаваторы с ковшами с еще большей вместимостью (до 60 м<sup>3</sup>). В ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова» на сегодняшний день закончено проектирование экскаватора ЭКГВ-50 с ковшем вместимостью 60 м<sup>3</sup>.

### Критерии эффективности

Развитие параметров автосамосвалов и экскаваторной техники взаимосвязано. Как правило, выбор оптимального соотношения вместимости ковша экскаватора и грузоподъемности автосамосвала достигается выполнением условия погрузки кузова в 5–12 циклов экскавации.

Очевидно, что уменьшение числа циклов загрузки экскаватором автосамосвалов позволит соответственно повысить производительность всего экскавационно-транспортного комплекса. Это произойдет за счет увеличения мощности экскаватора при неизменной грузоподъемности автосамосвала.

Производительность экскаватора и транспортной машины определяется количеством (объем, масса) груза, перемещаемого в единицу времени (секунда, час, смена, год). Различают техническую и экс-

Дальнейшее же увеличение грузоподъемности карьерных автосамосвалов сдерживается отсутствием шин высокой грузоподъемности.

Таким образом, в настоящее время максимально возможная производительность самого мощного в мире экскавационно-транспортного комплекса, состоящего из экскаватора Terex RH400 с объемом ковша 45 м<sup>3</sup> и автосамосвала БелАЗ 75710 грузоподъемностью 450 т, составляет около 10000 т/ч. Дальнейшего увеличения производительности пока не предвидится, поскольку нет возможности увеличения грузоподъемности автосамосвала.



Рис. 2. Terex RH400

плуатационную производительность. Техническая производительность  $Q$  определяется техническими параметрами машины и свойствами транспортируемого груза. Эксплуатационная производительность  $Q_3$  зависит не только от технических параметров машины и свойств груза, но и от фактических условий эксплуатации [3].

Техническая и эксплуатационная производительности связаны между собой соотношением

$$Q_3/Q = K_3,$$

где  $K_3$  – общий эксплуатационный коэффициент использования машины, представляющий собой произведение коэффициентов неравномерности загрузки машины  $K_n$ , использования во времени  $K_v$  и готовности машины  $K_r$ . При непрерывной работе с нормальной загрузкой  $K_3 = 1$ , при неполной загрузке и простоях  $K_3 < 1$ .

По значению технической производительности рассчитывают главные конструктивные параметры машин, обеспечивающие эту производительность.

Производительность автомобильного транспорта определяется как суммарная производительность всех единиц транспорта (автосамосвалов):

$$Q = \Sigma Q_a.$$

Индивидуальная производительность одной единицы (самосвала) в единицу времени определяется как

$$Q_a = r q_i,$$

где  $r = \frac{1}{T_p}$  - число рейсов в единицу времени;  $q_i$  - вес груза (в кузове автосамосвала);  $T_p$  - время рейса.

Время рейса автосамосвала складывается из времени загрузки  $t_z$  и разгрузки  $t_p$ , а также времени движения в грузовом и порожнем направлениях  $t_{\text{дв}}$ :

$$T_p = t_z + t_{\text{дв.гр}} + t_{\text{дв.пор}} + t_p.$$

Если рассматривать данные три слагаемых времени рейса, то из них, конечно же, основную часть занимает время дви-

жения. При значительных расстояниях транспортирования временем погрузки и разгрузки можно пренебречь. Если же расстояние транспортирования не превышает 2 км, то пренебрегать этими величинами нельзя. Причем время разгрузки, складывающееся из времени подъема и опускания кузова, практически не зависит от грузоподъемности автосамосвала (составляет в среднем 40 секунд). Время же загрузки зависит от времени цикла экскаватора и, в соответствии с паспортом загрузки, числа циклов (числа загружаемых ковшей). Число циклов составляет от 5 до 12. Поэтому при средней продолжительности цикла 30 с время погрузки может достигать 6 мин. Эти величины уже сопоставимы с общим временем движения автосамосвала.

Одним из возможных путей интенсификации процесса транспортирования может стать использование автосамосвалов малой грузоподъемности совместно с мощными, высокопроизводительными экскаваторами.

### Сравнительный анализ двух вариантов исполнения экскаваторно-автомобильных комплексов

Рассмотрим пример. Экскавационно-транспортный комплекс в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвалов БелАЗ-7530 грузоподъемностью 200 т с геометрическим объемом кузова  $100 \text{ м}^3$  транспортирует горную массу плотностью  $2 \text{ т/м}^3$ . Для упрощения расчетов примем длину транспортирования 1890 м, скорость движения в грузовом направлении 12 км/ч (4,2 м/с), в порожнем - 26 км/ч (7,2 м/с). Время простоя под загрузкой составляет 150 с (5 циклов по 30 с), под разгрузкой - 40 с (время подъема и опускания кузова по 20 секунд). Время маневров не учитываем.

Интервал движения автосамосвалов не может быть меньше времени загрузки (2,5 мин). При скорости движения грузового автосамосвала 12 км/ч (4,2 м/с) расстояние между самосвалами будет состав-

$$Q_s = 20 \cdot 2/30 = 1,33 \text{ т/с} = 4800 \text{ т/ч.}$$

При принятых для автосамосвала скорости движения в грузовом направлении 12 км/ч (4,2 м/с), скорости движения в

порожном направлении 26 км/ч (7,2 м/с), числе циклов погрузки 5 ( $5 \cdot 30 = 150$  с), времени разгрузки 40 с время рейса 630 м. На рис. 3 показаны пункт погрузки (Эк), разгрузочный пункт (Рп) и автосамосвалы 1, 2, 3, 4, 5, 6. На схеме показан момент времени, когда автосамосвал 1 полностью загружен и готовится к отправке, автосамосвалы 2 и 3 находятся в пути к пункту разгрузки, автосамосвал 4 подъехал к разгрузочному пункту и готовится к разгрузке, автосамосвалы 5 и 6 движутся в порожнем направлении к месту загрузки. За 30 секунд (время цикла экскаватора) автосамосвал 6 встанет под погрузку. Таким образом, обеспечивается непрерывная работа всего экскаваторно-автомобильного комплекса.

При принятых для экскаватора плотности породы  $2 \text{ т/м}^3$ , объеме ковша экскаватора  $20 \text{ м}^3$ , времени цикла 30 с максимальная производительность экскаватора

порожном направлении 26 км/ч (7,2 м/с), числе циклов погрузки 5 ( $5 \cdot 30 = 150$  с), времени разгрузки 40 с время рейса

$T_p = t_3 + t_{\text{об.зр}} + t_{\text{об.нор}} + t_p = 2,5 + 7,9 + 5,99 + 0,67 = 17 \text{ мин} = 0,28 \text{ ч}$ ,  
а максимальная производительность автосамосвала

$$Q_a = r \cdot q_i = q_i / T_p = 200 / 0,28 = 714 \text{ т/ч.}$$

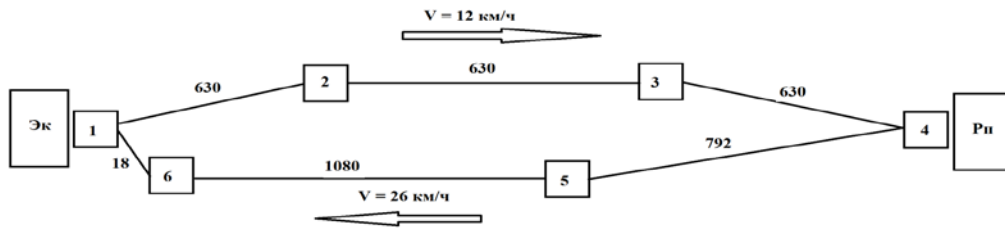


Рис. 3. Схема работы экскавационно-транспортного комплекса в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвалов БелАЗ-7530

Для обеспечения заданной производительности экскаватора потребуется следующее количество автосамосвалов:

$$N_a = 4800 / 714 = 6,7 \text{ авт.}$$

Исходя из приведенной схемы (рис. 3) в комплексе может быть использовано только 6 автосамосвалов. При работе 6 автосамосвалов производительность комплекса составит:

$$Q = \Sigma Q_a = 714 \cdot 6 = 4284 \text{ т/ч.}$$

Рассмотрим другой пример. Экскавационно-транспортный комплекс в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвалов БелАЗ-7547 грузоподъемностью 45 т с геометрическим объемом кузова 21,5 м<sup>3</sup>. Время простоя под загрузкой составляет 30 с (1 цикл). Все остальные параметры работы комплекса оставим без изменения. При скорости движения груженого автосамосвала 12 км/ч (4,2 м/с) расстояние между самосвалами будет составлять 126 м (рис. 4).

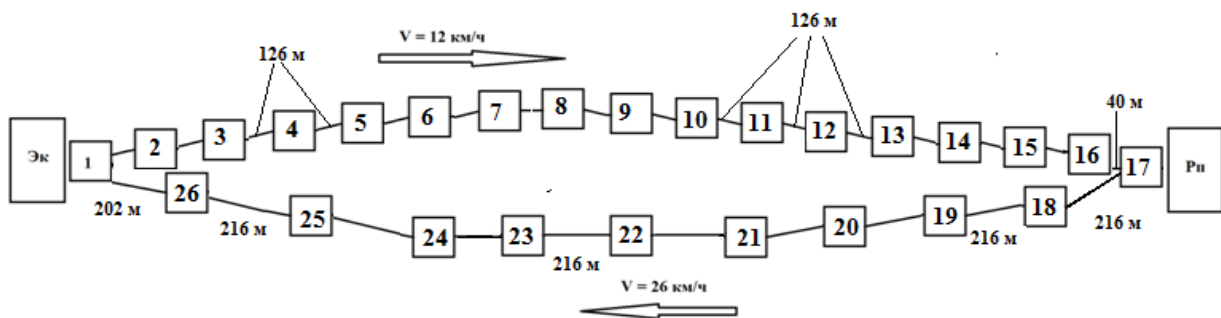


Рис. 4. Схема работы экскавационно-транспортного комплекса в составе экскаватора ЭКГ-20 и автосамосвалов БелАЗ-7547

Время рейса составит:

$$T_p = t_3 + t_{\text{об.зр}} + t_{\text{об.нор}} + t_p = 0,5 + 7,9 + 5,99 + 0,67 = 15,06 \text{ мин} = 0,25 \text{ ч.}$$

Максимальная производительность автосамосвала:

$$Q_a = r \cdot q_i = q_i / T_p = 45 / 0,25 = 180 \text{ т/ч.}$$

Для обеспечения заданной производительности экскаватора необходимо автосамосвалов:

$$N_a = 4800 / 180 = 26,7 \text{ авт.}$$

Таким образом, при работе 26 автосамосвалов БелАЗ-7547 производительность комплекса составит:

$$Q = \Sigma Q_a = 180 \cdot 26 = 4680 \text{ т/ч.}$$

## Заключение

По сравнению с комплексом, рассмотренным в первом примере (с автосамосвалами БелАЗ-7530), производительность второго комплекса (с автосамосвалами БелАЗ-7547) вырастет на 9%.

Если говорить о стоимости 6 автосамосвалов БелАЗ-7530 и 26 автосамосвалов БелАЗ-7547, то можно сказать следующее. Из открытых источников [4] известно, что 450-тонный БелАЗ-75710 стоит 7,5 млн долларов, его цена в два раза больше цены 220-тонного БелАЗ-7530. Таким образом, стоимость БелАЗ-7530 составляет примерно 3,75 млн долларов. Исходя из этих пропорций, можно предположить, что стоимость 45-тонного автосамосвала БелАЗ-7547 будет в 4,5 раза ниже стоимости БелАЗ-7530. Поэтому стоимость 26 автосамосвалов БелАЗ-7547 будет меньше, чем стоимость 6 автосамосвалов БелАЗ-7530.

К этому следует еще добавить весьма существенное снижение капитальных затрат на создание транспортных коммуникаций, поскольку ширина дорог для движения автосамосвалов БелАЗ-7530 более чем в два раза больше, чем для автосамосвалов БелАЗ-7547.

Немаловажным является и тот факт, что при выходе из строя одного автосамосвала БелАЗ-7530 производительность экскавационно-транспортного комплекса снизится на 27%. В то же время при выходе из строя одного автосамосвала БелАЗ-7547 производительность экскавационно-транспортного комплекса снизится всего лишь на 4%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахтурин, Ю.А. Современное состояние карьерного транспорта / Ю.А. Бахтурин // Горная техника. - 2005. - № 3. - С. 16-19.
2. Самолазов, А.В. Основные тенденции развития экскаваторно-автомобильных комплексов / А.В. Самолазов, Н.И. Паладеева, А.А. Беликов // Горная промышленность. - 2009. - № 4 (86). - С. 20-23.
3. Кольга, А.Д. Повышение экологичности использования карьерных автосамосвалов в составе автопоездов на открытых горных работах / А.Д. Кольга, Е.В. Московка // Современные проблемы транспортного комплекса России. - 2016. - Т. 6. - № 1. - С. 55-57.
4. Самый большой в мире БелАЗ приступил к работе на Кузбассе. - URL:

Но самое главное - это то, что данное решение позволяет в дальнейшем увеличивать производительность экскавационно-транспортных комплексов за счет увеличения объема ковша экскаватора вплоть до 157,5 м<sup>3</sup> (геометрический объем кузова автосамосвала БелАЗ-75710).

Однако существующие конструкции автосамосвалов рассчитаны на 5-12 циклов погрузки. Такое число циклов погрузки необходимо для того, чтобы снизить динамические нагрузки на раму автосамосвала от падающей из ковша экскаватора горной массы [5].

Для обеспечения погрузки автосамосвала за один цикл возможны два пути. Первый путь - весьма существенное усиление рамы, что, в свою очередь, приведет к увеличению габаритов, массы самого автомобиля, увеличению нагрузки на шины и, соответственно, снижению грузоподъемности.

Наиболее приемлемым путем может стать использование выносных опор, воспринимающих динамические нагрузки, возникающие при погрузке горной массы в кузов автосамосвала [6]. Принцип работы выносных опор прост. После установки автосамосвала под погрузку опоры выдвигаются и, упираясь в почву, воспринимают нагрузку от падающей из ковша горной массы. После окончания погрузки опоры втягиваются, плавно передавая нагрузку на раму автосамосвала.

[http://naviny.by/rubrics/economic/2014/08/22/ic\\_articles\\_113\\_186370](http://naviny.by/rubrics/economic/2014/08/22/ic_articles_113_186370).

5. Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов / В.П. Анцупов, Л.Т. Дворников, Д.Г. Громаковский [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2014. - № 1. - С. 141-146.
6. Медяева, М.Ж. Снижение динамических нагрузок на опорные конструкции при загрузке карьерных автосамосвалов / М.Ж. Медяева, А.Д. Кольга // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека». - Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2016. - С. 484-486.

1. Bakhturin, Yu.A. Current state of open pit transport / Yu.A. Bakhturin // *Mining Engineering*. – 2005. – pp. 16-19.
2. Samolazov, A.V. Basic tendencies in development of excavator-motor car complexes / A.V. Samolazov, N.I. Paladeeva, A.A. Belikov // *Mining Industry*. 2009. – No.4 (86). – pp. 20-23.
3. Kolga, A.D. Ecology improvement in use of open pit dump trucks in auto-trains in open pit mining / A.D. Kolga, E.V. Moscovka // *Current Problems of Transport Complex in Russia*. – 2016. Vol.6. – No.1. – pp. 55-57.
4. [World Largest Belaz Started its Work in Kuzbass. - URL:](#)
5. [http://naviny.by/rubrics/economic/2014/08/22/ic\\_articles\\_113\\_186370](http://naviny.by/rubrics/economic/2014/08/22/ic_articles_113_186370).
5. Physical theory fundamentals of machinery reliability on criteria of material kinetic strength / V.P. Antsupov, L.T. Dvornikov, D.G. Gromakovsky [et al.] // *Bulletin of Nosov State Technical University of Magnitogorsk*. – 2014. – No.1. – pp. 141-146.
6. Medyaeva, M.Zh. Dynamic load decrease on supporting structures at open pit dump truck loading / M.Zh. Medyaeva, A.D. Kolga // *Technological engineering for mining and oil-gas industry: Proceedings of the Inter. Scientif. Tech. Conf. "Kubachek's Memorial Readings"*. – Ekaterinburg: Publishing House of USTU, 2016. – pp. 484-486.

Статья поступила в редколлегию 29.01.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета  
Киричек А.В.

#### Сведения об авторах:

**Подболотов Сергей Владимирович**, аспирант Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, e-mail: [Podbolotov.Sergey@mail.ru](mailto:Podbolotov.Sergey@mail.ru).

**Podbolotov Sergey Vladimirovich**, Post graduate student of Nosov State Technical University of Magnitogorsk, e-mail: [Podbolotov.Sergey@mail.ru](mailto:Podbolotov.Sergey@mail.ru).

**Кольга Анатолий Дмитриевич**, д.т.н., профессор Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, e-mail: [kad-55@magtu.ru](mailto:kad-55@magtu.ru).

**Kolga Anatoly Dmitrievich**, D. Eng., Prof. of Nosov State Technical University of Magnitogorsk, e-mail: [kad-55@magtu.ru](mailto:kad-55@magtu.ru).