

УДК 621.878.4

Журавлев Артем Геннадиевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
транспортных систем карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: juravlev@igduran.ru

Черных Владимир Владимирович

лаборант,
лаборатория транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: chernyh@igduran.ru

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ
РАСЧЕТЫ ПРИМЕНЕНИЯ
ПОГРУЗЧИКОВ В КАЧЕСТВЕ
ВЫЕМОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ КАРЬЕРОВ****Аннотация:*

Стремление к увеличению глубины разработки месторождений открытым способом связано с его большей безопасностью и технико-экономической эффективностью при необходимости увеличения полноты освоения георесурсов. Поиск вариантов транспортной системы карьера для глубоких карьеров определяется, главным образом, их технико-экономической эффективностью. Этим требованиям отвечает ряд схем с крутонаклонными подъемниками (конвейерными или канатными), при этом предпочтительно уменьшать плечо откатки сборочного звена транспорта. В этих условиях возникает вопрос поиска альтернативного варианта экскаваторно-автомобильному комплексу в стесненных условиях глубокой зоны карьера. В данной статье рассмотрены технико-экономические показатели фронтальных погрузчиков при работе в качестве выемочно-транспортных машин. Выполнены расчеты для 29 моделей фронтальных погрузчиков, среди которых представлены БелАЗ, Caterpillar, LeTourneau, Komatsu, Liebherr, MoAZ. Емкость ковша варьируется от 2,2 до 40,5 м³. Установлены зависимости производительности погрузчиков их грузоподъемности, расстояния транспортирования и высоты подъема. Определено влияние указанных факторов на затраты, как капитальные, так и эксплуатационные, по применению погрузчиков.

Ключевые слова: фронтальный погрузчик, производительность, технико-экономические показатели, транспортирование горной массы.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.01.045

Zhuravlev Artyom G.

Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Laboratory of Transport Systems
and Geomechanics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: juravlev@igduran.ru

Chernykh Vladimir V.

Laborant,
Laboratory of Transport Systems
and Geomechanics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS
e-mail: chernyh@igduran.ru

**TECHNICAL AND ECONOMIC
CALCULATIONS OF THE USE
OF LOADERS AS EXCAVATION
AND TRANSPORTATION
EQUIPMENT OF OPEN PITS***Abstract:*

The desire to increase the depths of open-pit mining is associated with its greater safety and technical and economic efficiency, when gaining the completeness of the development of geo-resources. The search for options for the quarry transport system for deep quarries is mainly determined by their technical and economic efficiency. These requirements are met by a number of schemes with steeply inclined lifts (conveyor or rope), while it is preferable to reduce the recoil shoulder of the secondary transport link. In these conditions, the question arises of finding an alternative to the excavator-car complex in the cramped conditions of the deep pit zone. This article considers the technical and economic indicators of front loaders when working as dredging and transport machines. Calculations were made for 29 models of front loaders, including BelAZ, Caterpillar, LeTourneau, Komatsu, Liebherr, and MoAZ. The bucket capacity varies from 2.2 to 40.5 m³. The dependences of the performance of loaders on their load capacity, the distance of transportation and the lifting height are established. The influence of these factors on the costs, both capital and operational, for the use of loaders is determined.

Key words: front loader, efficiency, technical and economic indicators, rock mass transportation.

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00581-19-00, тема № 0405-2019-0005

Введение

Для глубоких карьеров с ограниченными размерами в плане существует проблема их экономически эффективной доработки в глубинной зоне. Прогнозные расчеты ряда исследователей показывают, что существует необходимость существенного увеличения глубины открытой разработки месторождений, в частности исследования Института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) дают оценки до 1000 м [1].

В этих условиях ввиду значительной высоты подъема целесообразно применение комбинированного транспорта с двумя – тремя звеньями. Для достижения максимальной глубины разработки, определяемой уровнем себестоимости, борта карьера должны быть поставлены в предельное по устойчивости положение, что для средних и нижних горизонтов ограничивается конструктивным углом откоса борта, поскольку при диаметре «чаши» карьера менее 1000 м заметное влияние оказывают транспортные коммуникации (автодороги), размещаемые на бортах. Выходом может служить применение разного рода крутонаклонных подъемников (скиповых, конвейерных), что позволяет сократить ширину транспортных берм на конечных бортах до минимально возможной величины и тем самым повысить углы откоса.

Традиционно в последние полвека сборочное звено транспорта представлено карьерными автосамосвалами, отличающимися высокой маневренностью, однако характеризующимися высокими эксплуатационными затратами. Максимальное заужение транспортных берм, сжатость рабочего пространства карьера в нижней части вызывают сложности в организации работ, не позволяют снизить затраты при работе экскаваторно-автомобильного комплекса (ЭАК), вызывают сложности при частой перегонке габаритного оборудования на поверхность.

Снижения затрат и упрощения организации работ можно достичь, объединив функции погрузочной техники и сборочного транспорта. Один из вариантов решения – применение погрузчиков как для выемки в забоях, так и для доставки горной массы до перегрузки на магистральное звено транспорта. Опыт исследований в этом вопросе [2 - 9] показывает, что такое применение фронтальных одноковшовых погрузчиков для добычи полезных ископаемых технологически возможно и обеспечивает ряд специфических преимуществ, однако сдерживается технико-экономическими показателями. Также при выемке из забоев тяжелых скальных пород наблюдается снижение производительности погрузчиков ввиду меньших усилий внедрения ковша и особенностей кинематики копания в сравнении с одноковшовыми экскаваторами мехлопатами; поэтому для применения погрузчиков на скальных породах требуется улучшение качества взрывной подготовки пород. Особые преимущества погрузчики могут обеспечить в случае оборудования их дистанционным и роботизированным управлением [9]: выемка горной массы в отдельных опасных зонах на нижних горизонтах карьера, при этом нет постоянно находящегося в опасной зоне оборудования, что снижает риск его повреждения или завала.

Учитывается необходимость по технологическим и технико-экономическим соображениям использования выемочно-доставочных машин вместо экскаваторно-автомобильных комплексов в качестве аналога таких специализированных выемочно-доставочных машин рассмотреть одноковшовые фронтальные погрузчики. Поэтому требует проработки вопрос технико-экономических показателей серийно выпускаемых погрузчиков в указанных схемах для последующего сравнения с экскаваторно-автомобильными комплексами в составе с дизель-гидравлическими и электромеханическими экскаваторами. В данной статье представлены результаты расчета прогнозных технико-экономических показателей фронтальных одноковшовых погрузчиков, используемых в качестве сборочного звена, при этом предполагается, что магистральное звено представлено скиповыми [10] или крутонаклонными конвейерными подъемниками [11], обеспечивающими многократный перенос перегрузочного пункта по глубине карьера вслед за понижением горных работ.

Методика исследований

Технологическая схема представлена на рис. 1. Рассматривается разработка скальной горной массы, подготовка которой к выемке осуществляется взрывным способом. Высота уступа определяется исходя из предотвращения образования козырьков и навесей при выемке погрузчиками (т.е. не более максимальной высоты черпания) и номинального наполнения ковша за 1 черпание. Взорванная горная масса забирается погрузчиками и транспортируется ими до перегрузочного пункта, на котором размещается бункер крутонаклонного подъемника. У бункера предусматривается 3 места для одновременной разгрузки.



Рис. 1. Технологическая схема работы погрузчиков

Выполнены расчеты производительности погрузчиков с учетом следующего:

- рабочая зона карьера, где функционируют погрузчики от горизонта загрузочного бункера подъемника и ниже (т.е. транспортирование погрузчиками сверху вниз к перегрузке не осуществляется);
- расстояние транспортирования варьируется от 500 м до 5 км с шагом 500 м;
- руководящий уклон – 8%;
- высота подъема горной массы погрузчиками 360 м с шагом расчета 30 м;
- объемная масса горной породы в целике – 2,4 т/м³;
- коэффициент наполнения ковша – 1,0;
- коэффициент разрыхления породы в ковше 1,25 (насыпная плотность 1,9 т/м³);
- число смен в сутках – 3.

Для определения производственных возможностей погрузчиков выполнены расчеты для 29 моделей погрузчиков, среди которых представлены БелАЗ, Caterpillar, LeTourneau, Komatsu, Liebherr, МоАЗ. Емкость ковша варьируется от 2,2 до 40,5 м³. Итоговые эксплуатационные производительности для каждого погрузчика определялись в трех размерностях: тонн в час, тонн в сутки и миллионов тонн в год.

Для расчета технической производительности погрузчика использована следующая формула [12]:

$$q = \frac{60 \cdot E \cdot \rho \cdot \varphi \cdot K_{зт}}{T_{ц}}, \text{ т/ч}, \quad (1)$$

где E – номинальная вместимость ковша, м³;

ρ – объемная масса перевозимого груза (насыпная плотность), т/м³;

φ – коэффициент наполнения ковша;

$K_{зт}$ – коэффициент учета сложности забоя и технологичности (принят 1,0);

$T_{ц}$ – время рабочего цикла погрузчика включая загрузку, движение, разгрузку, мин.

Расчет времени цикла погрузчика определялся по следующему выражению:

$$T_{ц} = [t_{мч} + t_{ч}] / 60 + t_{дг} + [t_{мп} + t_{р}] / 60 + t_{дп}, \text{ мин} \quad (2)$$

где $t_{мч}, t_{ч}$ – продолжительность, соответственно, маневрирования в забое и черпания (определялась по хронометражу для разных моделей погрузчиков);

$t_{дг}, t_{дп}$ – продолжительность движения погрузчика с грузом к месту разгрузки и порожнего к месту погрузки;

$t_{\text{мр}}$, $t_{\text{р}}$ – продолжительность, соответственно, маневрирования на разгрузочном пункте и непосредственно разгрузки ковша (определялось по хронометражу для разных моделей погрузчиков).

Расчет движения выполнялся аналогично методикам для карьерных автосамосвалов при укрупненных расчетах с учетом конструктивных особенностей и технических характеристик погрузчиков:

$$t_{\text{д}} = \sum \frac{60l_j}{\min \left\{ \begin{array}{l} (N_{\text{двс}} \eta) / (3,6mg(\omega + i_j)) \\ v_{\text{м}} \end{array} \right\}}, \text{ мин}, \quad (3)$$

где l_i , i_j – соответственно, длина и уклон участка трассы, км;
 $N_{\text{двс}}$ – эффективная мощность двигателя погрузчика, кВт;
 η – КПД трансмиссии погрузчика;
 m – масса погрузчика с наполненным ковшом, т;
 g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;
 ω – сопротивление качению колес погрузчика по автодороге (доли);
 $v_{\text{м}}$ – ограничение скорости погрузчика по техническим характеристикам либо условиям дорожного движения, км/ч.

Причем в грузовом направлении, как правило, в знаменателе лимитирующей оказывается скорость по тяговым возможностям (верхняя строка в условии \min), а в порожнем направлении – скорость максимальная по технической характеристике погрузчика или дорожным условиям.

Форма трассы для каждого варианта рассчитывается исходя из руководящего уклона 8 % по двум параметрам: общая высота и расстояние транспортирования. Для трасс с небольшой высотой подъема и значительным расстоянием наклонные участки дорог также приняты с уклоном 8 % до того момента, как будет достигнута заданная высота подъема, остальная часть пути принимается горизонтальной.

Экономические показатели погрузчиков рассчитаны на основе эксплуатационных показателей (производительности, пробега, расхода дизельного топлива) в виде текущих эксплуатационных и единоразовых капитальных затрат.

Эксплуатационные затраты рассчитаны методом калькуляции по статьям:

1. Оплата труда, включающая как основной фонд оплаты труда, так и начисления на него согласно нормам НК РФ на 2020 г. Среднемесячная оплата труда принята по открытым данным об оплате труда операторов погрузчиков.

2. Дизельное топливо. Учитываются затраты на топливо с учетом мощности двигателя и среднего коэффициента ее использования, паспортного удельного расхода топлива двигателем, плотности топлива.

3. Масла, смазки и рабочие жидкости. Учитываются затраты на моторное, гипоидное и гидравлическое масла, а также пластичные смазки и охлаждающую жидкость. Расход рабочих жидкостей определялся исходя из рекомендованных изготовителями периодичностей замены и номинальным объемам заправки систем. Стоимость рассчитана по среднерыночным ценам.

4. Техническое обслуживание и ремонт. Учитываются основные работы по текущему ремонту для фронтальных погрузчиков, в том числе замену быстроизнашиваемых частей и материалов (фильтры, прокладки и т.п.), элементов рабочего оборудования (футеровка и зубья ковша), капитальный ремонт двигателя внутреннего сгорания, а также ремонт двигателей мотор-колес с учетом их износа в моточасах (для электромеханической трансмиссии погрузчиков LeTourneau и БелАЗ). В затратах учтены оплата труда ремонтного персонала и запасные части.

5. Шины. Расход шин определен исходя из расчетного пробега погрузчиков за период и среднего ресурса соответствующей марки шин, эксплуатируемых на погруз-

чиках каждой рассматриваемой модели с учетом режима работы, характерного для автосамосвалов при значительных пробегах.

6. Амортизационные затраты. Учитываются амортизация самих фронтальных погрузчиков. Способ начисления амортизации – линейный.

7. Накладные расходы в размере 5 % от суммы вышеприведенных затрат.

Капитальные затраты включают в себя затраты на приобретение погрузчиков, строительство дорог в карьере (учтены только технологические автодороги от забоев до перегрузочного пункта), строительство гаражного хозяйства (учтены только гаражные боксы непосредственно для погрузчиков исходя из списочного их парка).

Полученные результаты и их анализ

Первостепенным технологическим показателем погрузчиков в рамках данного исследования является их производительность. Графики зависимости производительностей от дальности транспортирования (рис. 2) показывают, что при малых расстояниях производительность возрастает интенсивно. Это согласуется с закономерностью изменения производительности карьерных автосамосвалов.

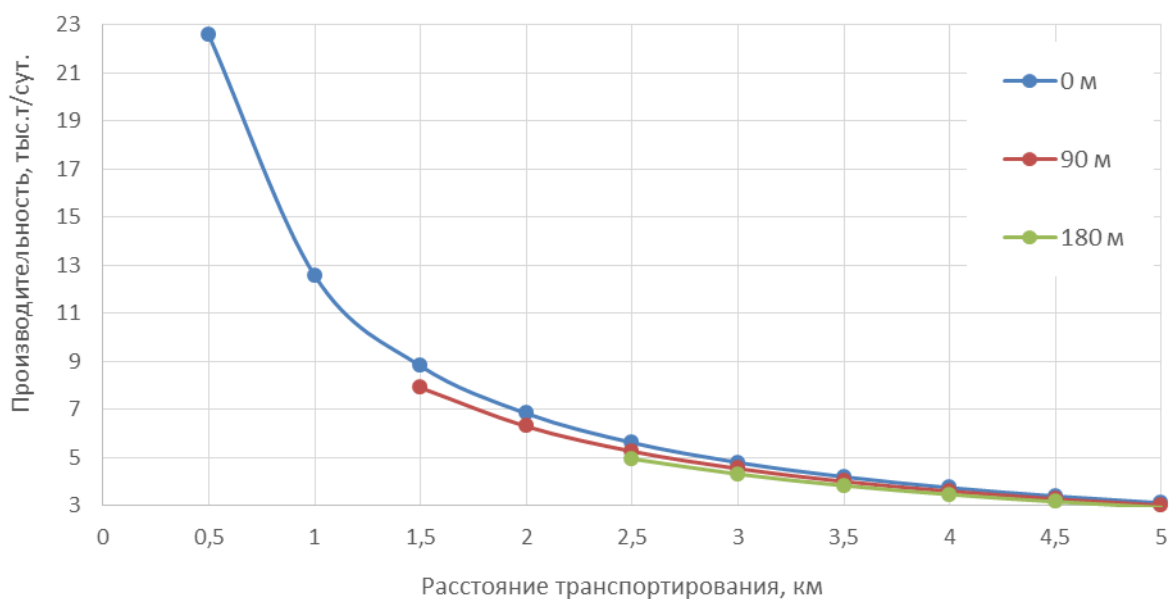


Рис. 2. Зависимость расчетной производительности погрузчика LeTourneau L-2350 от расстояния транспортирования при разной высоте подъема (высота указана в метрах)

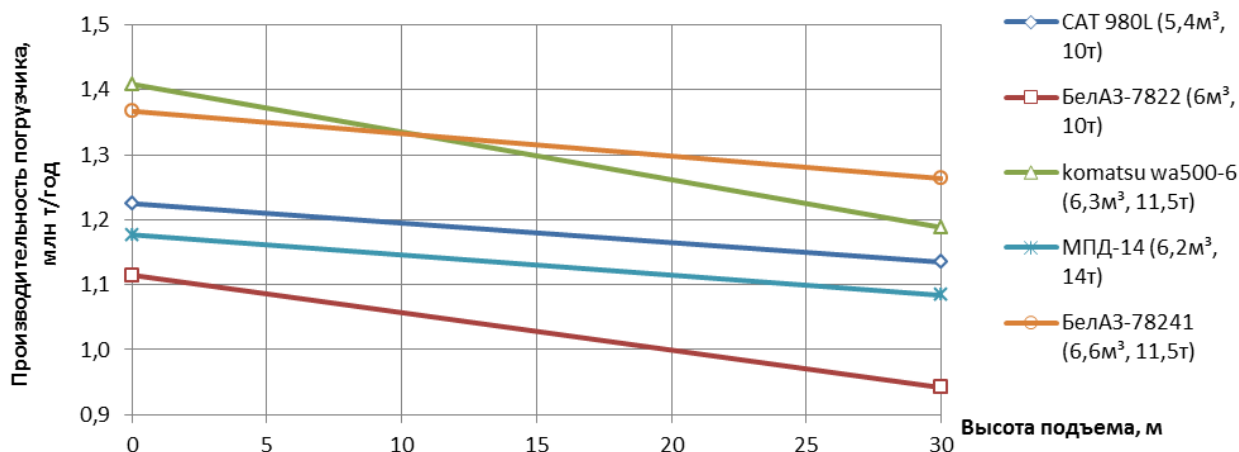


Рис. 3. Зависимости производительности погрузчиков по транспортированию горной массы на расстояние 0,5 км от высоты подъема

В то же время влияние высоты подъема при одном и том же расстоянии значительно меньше. Хотя детальное рассмотрение этой зависимости (рис. 3) позволяет установить разный наклон прямых в зависимости от параметров погрузчиков. Прежде всего наклон определяется удельной мощностью погрузчиков (кВт/т): чем она выше, тем менее интенсивно снижается производительность с возрастанием высоты подъема (а значит, и ростом уклона).

На рис. 4 представлены графики зависимости производительности от грузоподъемности фронтальных погрузчиков. Теоретически эти зависимости являются прямыми (1), с учетом же конкретных характеристик рассмотренных моделей погрузчиков массив точек имеет разброс значений относительно этих прямых. Отметим, что погрузчики с большой вместимостью ковша подвержены большему влиянию высоты подъема на их производительность по абсолютным значениям, однако эта зависимость «ослабевает» при значительных расстояниях доставки.

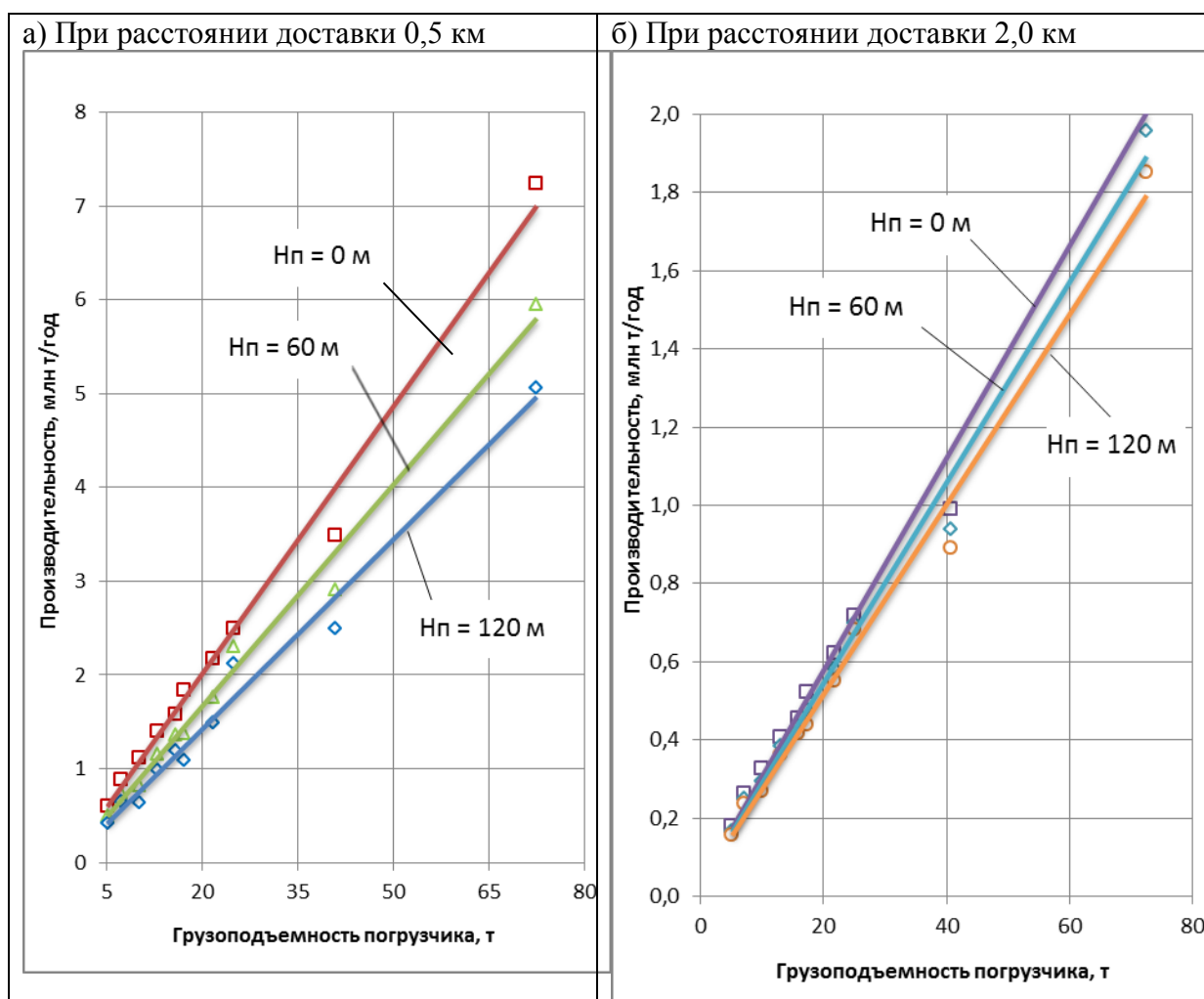


Рис. 4. Влияние грузоподъемности на производительность погрузчиков по транспортированию горной массы (H_p – высота подъема)

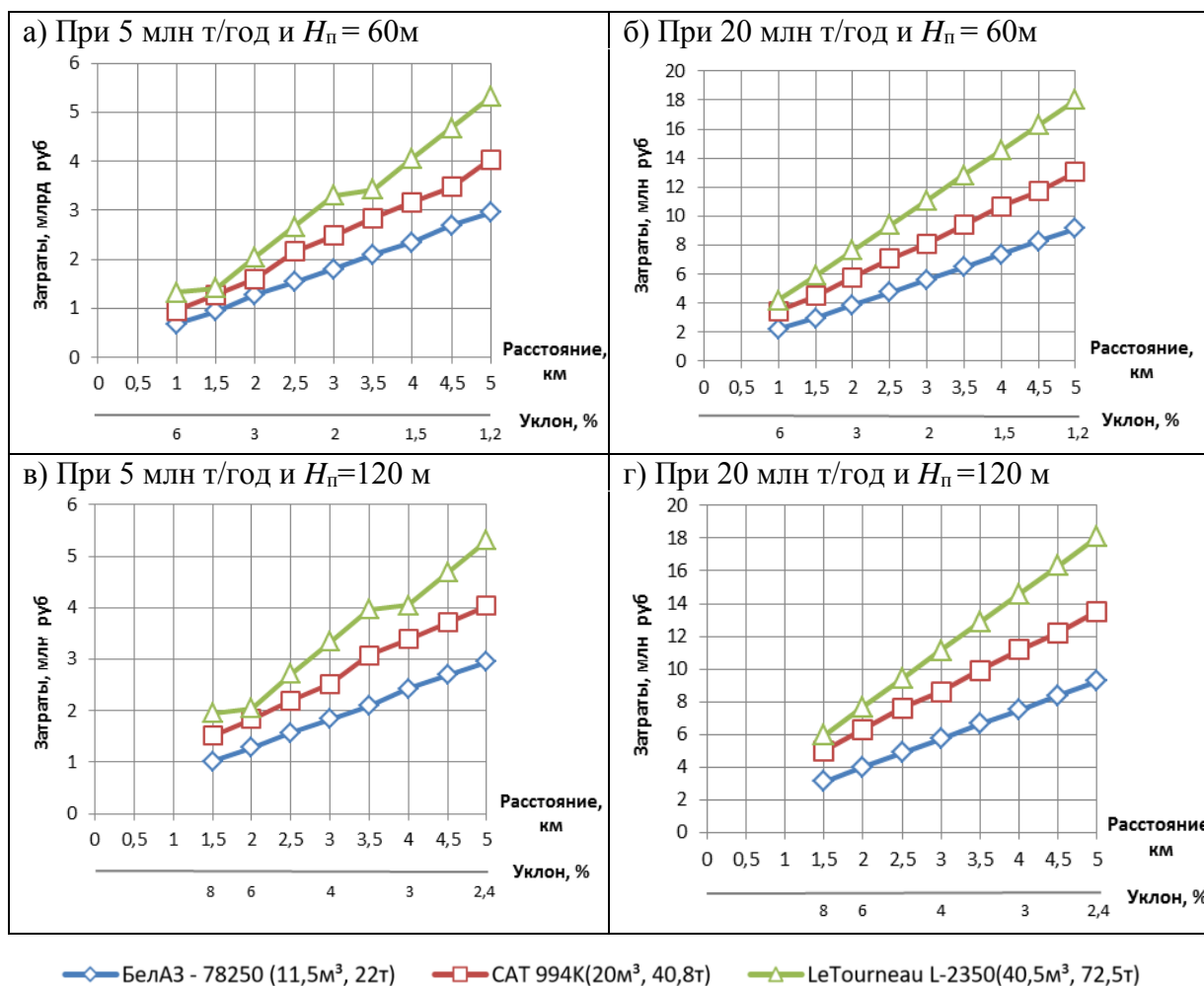
Для дальнейших технико-экономических расчетов выбраны 3 модели погрузчиков из группы высокопроизводительных с вместимостью ковша 10 – 40 м³: БелАЗ 78250 (геометрическая вместимость ковша 11,5 м³), САТ 994к (20 м³), LeTourneau L-2350 (40,5 м³). Выбор этих типоразмеров связан с тем, что при доставке горной массы на значительные расстояния погрузчиками для сохранения экономической эффективности необходимо обеспечить высокую единичную производительность (согласно результатам исследований, отраженных в монографии акад. К.Н. Трубецкого

[2] для фронтальных погрузчиков с вместимостью ковша 6 – 11 м³ конкурентной является дальность откатки всего 300 – 400 м при годовом объеме работ 3 – 5 млн т).

Все затраты рассчитаны исходя из технологических показателей, часть которых представлена на рис. 2 – 4, а объем транспортируемой горной массы варьировался от 5 до 20 млн т/год.

Установлено, что размер капитальных затрат линейно зависит от расстояния транспортирования (рис. 5). Изгибы на графиках крупнотоннажных погрузчиков LeTourneau и CAT (рис. 5а, в) связаны со скачкообразным изменением их расчетного рабочего парка в пределах 2 – 8 ед., что объясняется высокой единичной производительностью в условиях малого объема перевозок. При значительном объеме перевозок графики выравниваются и становятся строго линейными (рис. 5 б, г).

Как видно из графиков (см. рис. 5), несмотря на более высокую производительность (в 1,7 и 3,3 раза, соответственно) и пропорционально меньший рабочий парк, погрузчики CAT 994к, LeTourneau L-2350 требуют больших затрат в сравнении с БелАЗ-78250. Это связано с их высокой стоимостью и увеличенными расходами на возведение гаражного хозяйства под большие габариты. При значительных годовых объемах перевозок разница капитальных затрат увеличивается с 25 – 60 % (для 5 млн т/год) до 50 - 100 % (для 20 млн т/год).



На графиках указан средневзвешенный уклон по всей трассе

Рис. 5. Изменение капитальных затрат на комплекс погрузчиков в зависимости от расстояния транспортирования и годовой производительности при высоте подъема 60 м

Закономерности изменения эксплуатационных затрат на доставку горной массы погрузчиками аналогичны: с увеличением дальности транспортирования расходы возрастают (рис. 6). Примечателен факт, что затраты на крупнотоннажный погрузчик с гидромеханической трансмиссией (CAT 994k) выше, чем на погрузчики с электромеханической трансмиссией. Это объясняется меньшим расходом машинных масел, а также большими межремонтными сроками службы электромеханических трансмиссий за счет более простого устройства и меньшего количества трущихся деталей. Причем проявляется это при работе на подъем горной массы (рис. 6б, в), при доставке же по горизонтальным автодорогам затраты для разных моделей погрузчиков близки между собой. Также интересно, что расходы на самый крупный погрузчик (LeTourneau L-2350) ниже, чем на меньший БелАЗ-78250, что объясняется более высокой производительностью первого.

По мере увеличения уклона трассы эксплуатационные затраты закономерно снижаются, однако при средневзвешенных уклонах выше 4 % наблюдается «выползание» графиков и даже обратный рост (рис. 6 б, в). Это объясняется существенным возрастанием нагрузок на трансмиссию погрузчиков и соответствующим ростом расхода топлива и эксплуатационных материалов. Тенденция более выражена для крупнотоннажных погрузчиков с вместимостью ковша 20 – 40 м³ (CAT 994k и LeTourneau L-2350).

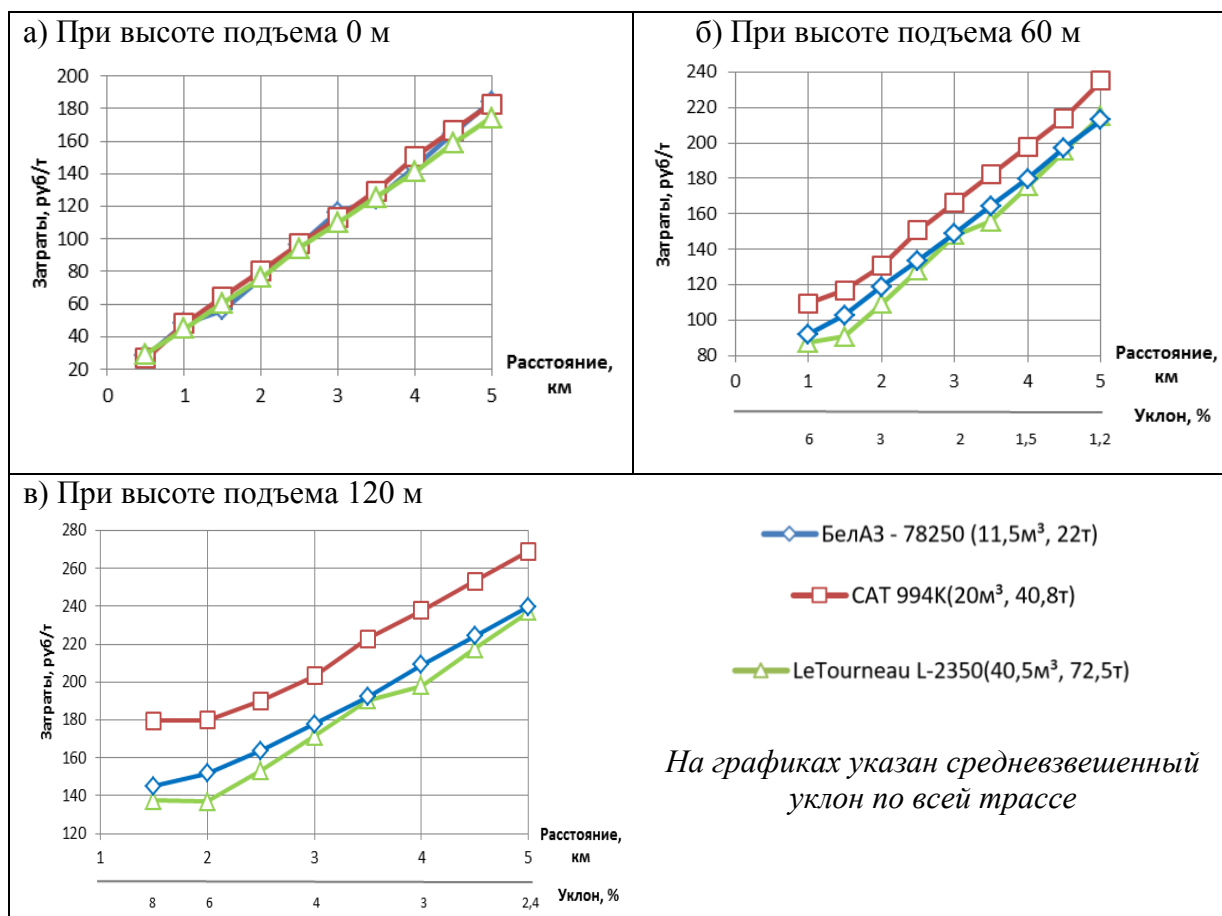
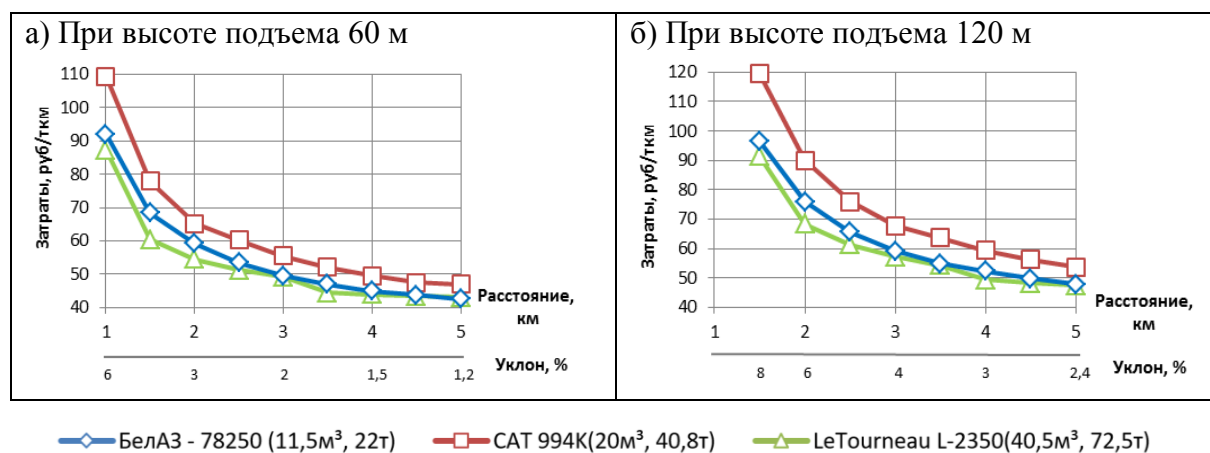


Рис. 6. Сводные графики эксплуатационных затрат на тонну при доставке горной массы погрузчиками

Для сравнения себестоимости затрат на доставку погрузчиками с автомобильным транспортом целесообразно привести все к расчетам в тонно-километрах (рис. 7). Зависимости затрат в руб/ткм аналогичны таковым для карьерного автотранспорта: с

ростом уклона затраты гиперболически увеличиваются. С одной стороны, уровень эксплуатационных расходов на функционирование комплекса погрузчиков в 3 – 5 раз выше, чем на эксплуатацию карьерных автосамосвалов. С другой – исключение затрат на приобретение и эксплуатацию экскаваторов может существенно снизить общие расходы.



На графиках указан средневзвешенный уклон по всей трассе

Рис. 7. Сводные графики эксплуатационных затрат на 1 ткм при доставке горной массы погрузчиками

Таким образом, можно на основании полученных результатов сделать следующие выводы:

1. Применение погрузчиков в качестве выемочно-магистрального комплекса в схемах комбинированного транспорта глубоких карьеров может быть целесообразным.
2. Необходимо продолжить исследования и выполнить сравнительный анализ по технологическим и экономическим критериям погрузчиков и экскаваторно-автомобильных комплексов. Расчеты ЭАК показывают [13], что при правильном обосновании можно добиться их высоких технико-экономических показателей, однако при малых объемах добычи и неритмичной работе себестоимость возрастает.

Выводы

1. Современные погрузчики тяжелого типа с объемом ковша 20 – 40 м³ могут обеспечить приемлемую производительность при транспортировании горной массы на расстояния до 2 – 5 км при годовом грузообороте до 10 млн т/год.

Ограничениями их применения является более высокая стоимость и меньшая производительность в сравнении с аналогичными карьерными автосамосвалами, ограничивающими эффективную дальность транспортирования и годовой объем перевозок.

В настоящее время предпочтительными горно-техническими условиями применения фронтальных одноковшовых погрузчиков согласно научно-технической литературе считаются площадки с ограниченными размерами (учитывая высокую маневренность погрузчиков), выемку разрыхленных руд и пород с объемной массой до 3 т/м³ и доставкой их на расстояние до 500 м.

2. Себестоимость транспортирования погрузчиками выше, чем автосамосвалами, но с учетом исключения затрат на парк экскаваторов может быть найдена экономически эффективная область применения такого технологического комплекса.

3. Технологические преимущества использования погрузчиков вместо экскаваторно-автомобильного комплекса состоят в следующем:

- при небольших объемах добычи капитальные затраты на экскаваторно-автомобильный комплекс выше, чем у фронтальных погрузчиков;
- погрузчики обладают большей маневренностью, чем автосамосвалы, и неста-

тичны во время загрузки в отличие от экскаваторов, что позволяет организовать более гибкие условия как в забое, так и в околзабойном пространстве;

- фронтальные погрузчики, являясь мобильными в данной технологии, в случае поломки не замораживают отработку забоя в отличие от экскаватора, а лишь снижают интенсивность сообразно производительности выбывшего погрузчика на время его восстановления или прихода резервного;

- возможность высокоманевренной селективной выемки руды, в том числе отработки малыми слоями, а также «гибкого» усреднения руд за счет шихтовки из разных забоев и их участков, при этом не требуется держать в забоях погрузочное оборудование.

4. Сравнение погрузчиков, работающих в качестве выемочно-доставочных машин, с экскаваторно-автомобильными комплексами будет выполнено в продолжение исследований.

Список литературы

1. Зырянов И.В., Акишев А.Н., Бокий И.Б., Бондаренко И.Ф., 2018. Инновации при проектировании алмазородных карьеров в криолитозоне. *Горная промышленность*, № 5, С. 66 - 69.

2. Трубецкой К.Н., 1985. *Технология применения и параметры карьерных погрузчиков*. Москва: Недра, 264 с.

3. Чебан А.Ю., Хрунина Н.П., 2019. Автоматизация процессов разработки сложноструктурных месторождений с применением машин послойного фрезерования. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, №4, С. 137 - 176.

4. Пажинский Е.С., 2020. Обоснование добычного оборудования. *Трибуна ученого*, №1, С. 95 – 101.

5. Чебан А.Ю., Секисов Г.В., 2020. Обоснование использования комбинированной подготовки к селективной выемке руд сложноструктурных месторождений. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*, № 3, С. 4 – 12.

6. Курехин Е.В., 2015. Обоснование технологии разработки взорванных пород с применением выемочно-погрузочных комплексов и автомобильного транспорта для разрезов малой производственной мощности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № S45-1, С. 502 – 518.

7. Зырянов И.В., Золотухин Г.К., Решетников С.В., 2016. Сравнительная оценка эффективности применения колесных погрузчиков на карьерах АК "АЛРОСА". *Горный журнал*, № 9, С. 81 – 84.

8. Артемьев В.Б., Шапваленко Г.Н., 2011. Шесть причин целесообразности приобретения универсального оборудования большой единичной мощности. *Уголь*, № 4, С. 26 – 29.

9. Акишев А.Н., Бабаскин С.Л., Зырянов И.В., Кожемякин А.А., Федеряев О.В., 2015. Анализ результатов опытно-промышленных испытаний схем вскрытия крутонаклонными съездами и эксплуатации горно-транспортного оборудования с системами дистанционного управления (на примере карьера "Удачный»). *Горный информационно-аналитический бюллетень*, №S1-1, С.357 – 370.

10. Чендырев М.А., Журавлев А.Г., 2018. Техничко-экономические параметры транспортирования горной массы из карьера автомобильным наклонным карьерным подъемником. *Бюллетень научно-технической и экономической информации "Черная металлургия"*, №1, С. 33 – 36.

11. Берсенев В.А., Семенкин А.В., Сумина И.Г., 2020. Строительство конвейерных подъемников на бортах карьеров. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3 - 1, С. 531 – 542. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-518-529.

12. Лель Ю.И., Стенин Ю.В., Шлохин Д.А., Глебов И.А., 2019. *Выемочно-погрузочные работы: учебно-методическое пособие*. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 53 с.
13. Журавлев А.Г., Скороходов А.В., 2015. К вопросу обоснования производительности экскаваторно-автомобильных комплексов методом компьютерного моделирования. *Проблемы недропользования*, № 2, С. 53 – 60. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.02.053)

References

1. Zyryanov I.V., Akishev A.N., Bokii I.B., Bondarenko I.F., 2018. *Innovatsii pri proektirovanii almazorudnykh kar'erov v kriolitozone* [Innovations in the design of diamond ore quarries in the cryolithozone]. *Gornaya promyshlennost'*, № 5, Pp. 66 - 69.
2. Trubetskoi K.N., 1985. *Tekhnologiya primeneniya i parametry kar'ernykh pogruchikov* [Application technology and parameters of quarry loaders]. Moscow: Nedra, 264 p.
3. Cheban A.Yu., Khrunina N.P., 2019. *Avtomatizatsiya protsessov razrabotki slozhnostrukturnykh mestorozhdenii s primeneniem mashin posloinogo frezerovaniya. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Automation of the development processes of complex-structured deposits with the use of layer-by-layer milling machines]. *Nauki o Zemle*, №4, Pp. 137 – 176.
4. Pazhinskii E.S., 2020. *Obosnovanie dobychnogo oborudovaniya* [Justification of mining equipment]. *Tribuna uchenogo*, №1, Pp. 95 – 101.
5. Cheban A.Yu., Sekisov G.V., 2020. *Obosnovanie ispol'zovaniya kombinirovannoi podgotovki k selektivnoi vyemke rud slozhnostrukturnykh mestorozhdenii* [Justification of the use of combined preparation for selective extraction of ores of complex-structured deposits]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*, № 3, Pp. 4 – 12.
6. Kurekhin E.V., 2015. *Obosnovanie tekhnologii razrabotki vzorvannykh porod s primeneniem vyemochno-pogruzochnykh kompleksov i avtomobil'nogo transporta dlya razrezov maloi proizvodstvennoi moshchnosti* [Justification of technology for development of blasted rocks with use of dredging and loading complexes of motor transport and for sections of small production capacity]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № S45-1, Pp. 502 – 518.
7. Zyryanov I.V., Zolotukhin G.K., Reshetnikov S.V., 2016. *Sravnitel'naya otsenka effektivnosti primeneniya kolesnykh pogruchikov na kar'erakh AK "ALROSA"* [Comparative evaluation of the effectiveness of wheel loaders in the open-pit mines of ALROSA]. *Gornyi zhurnal*, № 9, Pp. 81 – 84.
8. Artem'ev V.B., Shapvalenko G.N., 2011. *Shest' prichin tselesoobraznosti priobreteniya universal'nogo oborudovaniya bol'shoi edinichnoi moshchnosti* [Six reasons why it is advisable to purchase universal equipment of large unit capacity]. *Ugol'*, № 4, Pp.26 - 29.
9. Akishev A.N., Babaskin S.L., Zyryanov I.V., Kozhemyakin A.A., Federyaev O.V., 2015. *Analiz rezul'tatov opytno-promyshlennykh ispytanii skhem vskrytiya krutonaklonnymi s'ezdami i ekspluatatsii gorno-transportnogo oborudovaniya s sistemami distantsionnogo upravleniya (na primere kar'era "Udachnyi")* [Analysis of the results of pilot tests of schemes for opening steeply inclined ramps and operation of mining and transport equipment with remote control systems (on the example of the Udachny quarry)]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, №S1-1, Pp.357 – 370.
10. Chendyrev M.A., Zhuravlev A.G., 2018. *Tekhniko-ekonomicheskie parametry transportirovaniya gornoi massy iz kar'era avtomobil'nyim naklonnym kar'ernym pod'emnikom* [Technical and economic parameters of rock mass transportation from a quarry by an inclined automobile quarry lift]. *Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii "Chernaya metallurgiya"*, №1, Pp. 33 – 36.

11. Bersenev V.A., Semenkin A.V., Sumina I.G., 2020. *Stroitel'stvo konveiernykh pod"emnikov na bortakh kar'erov* [Construction of conveyor lifts on the sides of open pits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 3 - 1, Pp. 531 – 542. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-518-529.

12. Lel' Yu.I., Stenin Yu.V., Shlokhin D.A., Glebov I.A., 2019. *Vyemochno-pogruzochnye raboty: uchebno-metodicheskoe posobie* [Excavating and loading operations: an educational and methodological guide]. Ekaterinburg: Publ. UGGU, 53 p.

13. Zhuravlev A.G., Skorokhodov A.V., 2015. *K voprosu obosnovaniya proizvoditel'nosti ekskavatorno-avtomobil'nykh kompleksov metodom komp'yuternogo modeli-rovaniya* [On the issue of substantiating the efficiency of excavator-automobile complexes by computer modeling]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 2, Pp. 53 – 60. DOI: 10.18454/23131586. 2015.02.053)