

## Об изменении производительности обратных гидравлических лопат при разных схемах погрузки вскрыши в карьерные самосвалы

Хорешок А. А.<sup>1</sup>, Дубинкин Д. М.<sup>1</sup>, Литвин Я. О.<sup>2</sup>, Марков С. О.<sup>1</sup>, Тюленев М. А.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

<sup>2</sup> АО УК «Кузбассразрезуголь», «Моховский угольный разрез» (филиал),

с. Мохово Кемеровская обл., Россия

\*e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

### Реферат

**Введение.** Обратные гидравлические лопаты в настоящее время являются одним из основных видов выемочно-погрузочного оборудования на открытых горных работах. Диапазон их рабочих параметров позволяет вести выемку вскрыши и полезного ископаемого как верхним, так и нижним черпанием. Обширным производственным опытом установлено, что наиболее производительной является работа таких экскаваторов с нижним черпанием и нижней погрузкой, прочие варианты черпания и погрузки приводят к снижению производительности. Однако при нижнем черпании и погрузке возникает постоянная необходимость определения возможности экскаватора полностью прочерпать забой и обеспечить безопасную погрузку в транспортные средства. В статье авторы делают попытку подчеркнуть необходимость корректировки основных принципов расчета параметров технологии открытых работ применительно прежде всего к отработке пластовых (угольных) месторождений.

**Целью работы** является определение потенциального снижения производительности горных машин, входящих в комплекс – экскаватора и карьерного самосвала – при различных вариантах их взаимного расположения на уступе.

**Методика.** Для решения поставленных задач использованы фактические данные о чистом времени работы экскаватора в течение смены, хронометражные и статистические данные о времени погрузки, обмена, маневрирования карьерного самосвала в забое и на отвале.

**Результаты.** Установлено, что наибольшему влиянию внешних факторов подвержена производительность основной единицы выемочно-погрузочно-транспортного комплекса – экскаватора. Разработана методика, позволяющая оценить степень снижения производительности при изменении того или иного фактора.

**Выводы.** Определены направления дальнейших исследований. Выяснено, что для получения более точных зависимостей необходимы расчеты для всех возможных вариантов совместной работы экскавационного и транспортного оборудования, используемого на конкретном разрезе (изучаемом объекте). Также требуется учитывать возможное изменение технологических параметров гидравлического экскаватора за счет применения сменного рабочего оборудования – рукояти и ковша.

**Ключевые слова:** гидравлический экскаватор; открытые горные работы; эффективная производительность; карьерный самосвал; карьерный автотранспорт; забойный блок; траектория движения; режущая кромка; зубья ковша.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. № 075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева» в рамках Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса

*технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») при реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.*

**Введение.** Задача установления возможности полного прочерпывания экскаватором как угольного, так и породного забоя усложняется за счет того, что транспортное оборудование карьеров (в первую очередь, карьерного самосвала) имеет более выраженную тенденцию к увеличению своей грузоподъемности и, соответственно, размеров, в отличие от интенсивности увеличения средней вместимости ковша экскаватора. За последние годы такое расхождение привело к необходимости корректировки расчета основных параметров технологии открытых горных работ. Например, казавшееся незыблемым соотношение между вместимостью кузова (грузовой платформы) карьерного самосвала (КС) и ковша экскаватора (классические 4–6 ковшей) уже явно устарело – в условиях современных разрезов существуют такие комплексы оборудования, у которых в кузов КС может помещаться как 2, так и 15 ковшей, причем работа организована так, что существенных потерь производительности нет ни у экскаватора, ни у КС.

**Методы исследований.** Для корректировки методики расчета производительности выемочного и транспортного оборудования использованы натурные хронометражные данные времени погрузки КС, их разгрузки, продолжительности рейса в груженом и порожнем направлениях, а также маневрирования в забое и на отвале. При расчетах использовались усредненные данные за два месяца работы комплекса.

**Результаты, их анализ и обсуждение.** В качестве некоторых предварительных пояснений необходимо сделать краткие замечания по поводу комплектования возможного парка выемочно-погрузочного и транспортного оборудования на отдельно взятом разрезе. В современной проектной деятельности, как правило, при разработке либо корректировке проекта горного предприятия, неотъемлемой частью проекта является набор (альбом) технологических схем ведения горных работ. Практически всегда проектировщики получают, с одной стороны, перечень горно-геологических условий, т. е. ту вводную информацию, которая не может быть изменена, а с другой стороны – пожелания заказчика, касающиеся требуемой производственной мощности предприятия и марок и моделей применяемой техники. Зачастую приходится использовать не совсем совместимые вещи, например, объединять в один комплекс экскаваторы с малой вместимостью ковша и большегрузные КС; применять на вскрышных работах гидравлические экскаваторы, хотя более логичным было бы использование мощных мехлопат (однако у заказчика они попросту отсутствуют). Здесь необходим учет экономических показателей и факторов, влияющих на их изменение. Кроме того, в каждом конкретном случае обязательна всесторонняя проверка возможности взаимной безопасной работы (возможность прочерпывания экскаватором угольного пласта на всю высоту отрабатываемого уступа/подступа/слоя; возможность нижней/верхней погрузки этим же экскаватором в тот или иной КС; обеспечение возможности для маневрирования КС и его безопасной установки ниже/выше/на уровне стояния экскаватора и т. д.). Все это обуславливает невозможность использования устаревших рекомендаций, методик и нормативов. Эти вопросы поднимались в том числе и авторами данной статьи [1]. Значительное число публикаций посвящено техноло-

гическим [2–12], экологическим [13–17] и иным аспектам повышения эффективности открытой геотехнологии. При выраженном общем векторе направленности их исследований относительно малоизученными остаются вопросы, связанные с расчетом изменения производительности экскаваторов и КС при корректировке разных параметров открытой геотехнологии. Работы зарубежных ученых [18–21] в данной области малораспространены.

Проблема несоответствия параметров экскаватора и КС возникает при обработке не только угольных пластов, но и вскрыши. Рассмотрим схему экскавации развала взорванной горной массы и взаимное расположение экскаватора и КС грузоподъемностью 220 т (рис. 1).

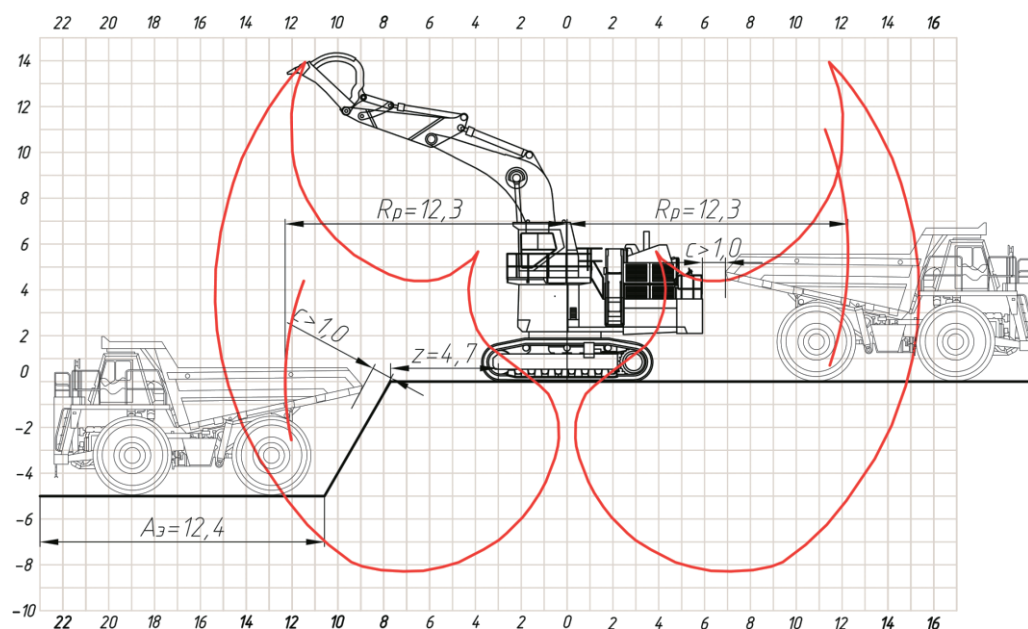


Рисунок 1. Варианты взаимного расположения экскаватора Liebherr R9200 (вместимость ковша 12,5 м³) и карьерного самосвала БелАЗ-7530 (грузоподъемность 220 т)

Figure 1. Options for the relative position of the Liebherr R9200 backhoe (bucket capacity 12.5 m³) and the BelAZ-7530 dump truck (load capacity 220 t)

При экскавации развала угол откоса равен 60°. При высоте слоя 5 м нижняя погрузка в автотранспорт невозможна – радиуса разгрузки недостаточно с учетом того, что борма безопасности при работе экскаватора Liebherr R9200 на развале указанной высоты составляет 4,7 м (при большей высоте обрабатываемого слоя это значение также возрастает: например, для слоя 10 м борма равна уже 5,7 м, кроме того, угол откоса снижается с 60° до 55°). При погрузке на уровне установки экскаватора ситуация улучшается (рис. 1) – проекция максимального радиуса разгрузки приходится примерно на середину кузова КС, но такая погрузка сразу же влечет за собой увеличение времени цикла и снижение производительности как экскаватора, так и КС. Таким образом, и в этих условиях необходимо делить обрабатываемый пятиметровый слой на два высотой по 2,5 м (рис. 2) – только в этом случае будет обеспечена погрузка ниже уровня стояния. Но возможность обеспечения нижней погрузки КС имеется далеко не всегда. Во-первых, имеющийся недостаток (увеличение расстояния транспортирования) приводит к росту времени рейса КС и как следствие – к снижению его производительности [22].

Возникает очередная нерешенная задача – снизить производительность КС (нижняя погрузка + увеличение времени рейса) или производительность экскаватора (погрузка на уровне стояния + увеличение времени цикла)? Авторы полагают, что в этом случае необходим дополнительный объем данных, получаемых в натуральных условиях:

– ежесменный расход топлива при движении КС по ровной поверхности и на подъем под различными углами наклона трассы с учетом материала дорожного покрытия;

– ежесменный расход топлива при использовании экскаватором только нижней погрузки, только погрузки на уровне установки, применения обоих видов погрузки;

– гранулометрический и петрографический состав взорванной горной массы, степень его влияния на производительность обоих видов оборудования, оценка возможности использования для нужд предприятия [15, 16], а также ряд иных факторов.

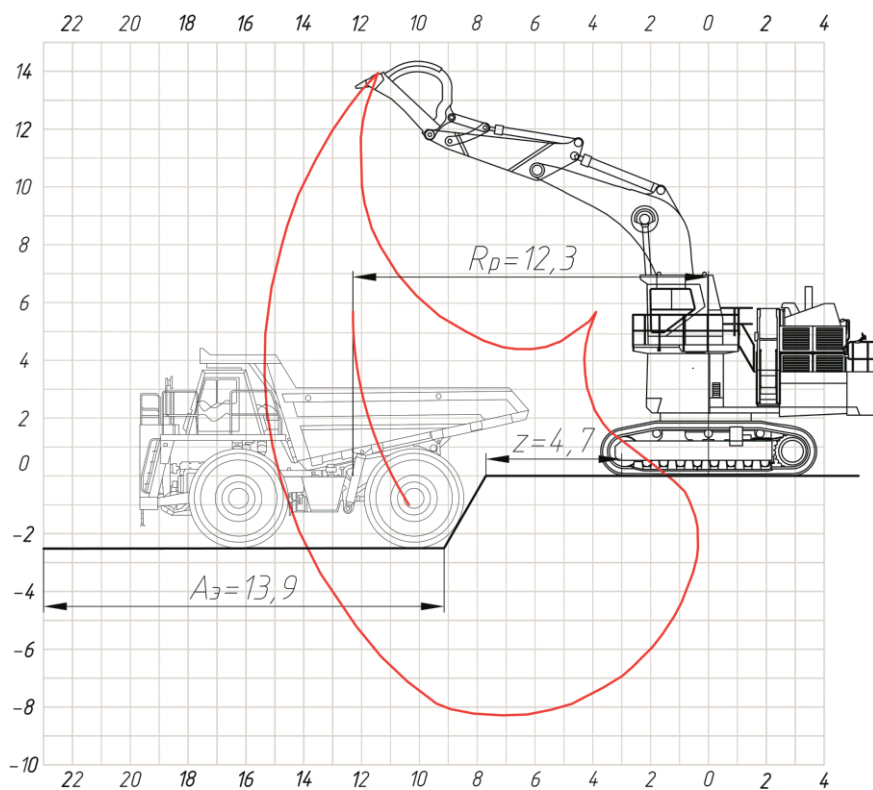


Рисунок 2. Схема отработки развала взорванной горной массы экскаватором Liebherr R9200 с нижней погрузкой в карьерный самосвал БелАЗ-7530

Figure 2. Scheme of excavating the shotpile of blasted rock mass with a Liebherr R9200 backhoe with downward loading into a BelAZ-7530 dump truck

Однако примерное (потенциальное) снижение производительности экскаваторно-автомобильного комплекса можно рассчитать, приняв какой-либо вариант за базовый (100 %). Рассмотрим это на конкретных значениях.

*Первый вариант.* Время погрузки КС (нижняя погрузка) – 3 мин (6 ковшей, время цикла 30 сек). Время установки КС под погрузку – 1,1 мин; время на ожидание у экскаватора – 0,5 мин; время рейса – 24 мин. Время маневрирования и разгрузки на отвале – 1,5 мин.

Определим эффективную производительность экскаватора, выразив ее через количество КС  $n_{\text{авто}}$ , загружаемых за смену. При непрерывной подаче под погрузку:

$$n_{\text{авто}} = \frac{T_{\text{ч.см}}}{t_{\text{погр}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{уст.погр}}},$$

где  $T_{\text{ч.см}}$  – время чистой работы экскаватора в течение смены, с учетом всех перерывов  $T_{\text{ч.см}} = 620$  мин;  $t_{\text{погр}}$  – время погрузки КС, мин;  $t_{\text{ож}}$  – время на ожидание у экскаватора,  $t_{\text{ож}} = 0,5$  мин;  $t_{\text{уст.погр}}$  – время установки КС под погрузку,  $t_{\text{уст.погр}} = 1,1$  мин.

Подставив соответствующие значения, получим  $n_{\text{авто}} = 134$  ед.

*Второй вариант.* Время погрузки КС (погрузка на уровне стояния) – 4,6 мин (6 ковшей, время цикла 46 сек). Время установки КС под погрузку – 1,1 мин; время на ожидание у экскаватора – 0,5 мин; время рейса – 24 мин. Время маневрирования и разгрузки на отвале – 1,5 мин. Тогда  $n_{\text{авто}} = 100$  ед., что составляет 74,6 % от достигнутой экскаватором производительности при нижней погрузке.

В свою очередь, эффективная производительность КС, выражаемая числом рейсов за смену, определится как

$$\text{Рейс}_{\text{авто}} = \frac{T_{\text{ч.см}}}{t_{\text{погр}} + t_{\text{уст.погр}} + t_{\text{разгр}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{рейс}} + t_{\text{уст.разгр}}},$$

где  $t_{\text{разгр}}$  – время разгрузки КС,  $t_{\text{разгр}} = 0,8$  мин;  $t_{\text{рейс}}$  – время на один рейс,  $t_{\text{рейс}} = 24$  мин;  $t_{\text{уст.разгр}}$  – время на установку на разгрузку,  $t_{\text{уст.разгр}} = 0,7$  мин.

Сделаем допущение, касающееся времени рейса КС, которое принято одинаковым, несмотря на некоторую разницу как в количественном отношении (расстоянии транспортирования), так и в качественном (уменьшение доли горизонтальных участков маршрута и увеличение доли пути, преодолеваемого КС в гору и под уклон).

Тогда количество рейсов при нижней погрузке  $\text{Рейс}_{\text{авто,ни}} = 20,6 \approx 20$  рейсов, а при погрузке на уровне стояния  $\text{Рейс}_{\text{авто,пу}} = 19,56 \approx 19$  рейсов.

Можно сделать предварительный вывод о том, что изменение схемы погрузки с нижней на погрузку на уровне стояния снижает производительность КС на 5 % при прочих равных условиях.

**Общий вывод по работе.** Исходя из приведенных расчетов, целесообразно применять технологические схемы работы экскаватора с нижней погрузкой КС, поскольку эффективная производительность экскаватора при изменении схемы погрузки снижается гораздо интенсивнее, нежели КС. Увеличение расстояния транспортирования за счет необходимости выезда на выше лежащий уступ (движения на подъем по внутренней наклонной траншее), во-первых, сказывается только при малых плечах откатки (до 0,6–0,8 км), которые на практике встречаются весьма нечасто. Во-вторых, если из общего времени рейса доля времени собственно движения в груженом и порожнем направлениях значительна (например, при соотношении вместимости кузова КС и ковша экскаватора в пределах 2–3 и, как следствие, минимизированном времени погрузки), то рост расстояния транспортирования составляет не более нескольких процентов, что, по сути, укладывается в рамки допустимой погрешности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвин О. И., Хорешок А. А., Дубинкин Д. М., Марков С. О., Стенин Д. В., Тюленев М. А. Анализ методик расчета производительности карьерных гидравлических экскаваторов // Горная промышленность. 2022. № 5. С. 112–120. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120
2. Милый С. М. Оценка технологий отработки крутонаклонных угольных месторождений Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2020. № 1(8). С. 45–73. DOI: 10.26730/2618-7434-2020-1-45-73
3. Тюленева Е. А., Лесин Ю. В., Литвин Я. О. Исследование технологии отработки угленасыщенных зон на разрезах Кузбасса простыми и сложными забоями // Техника и технология горного дела. 2019. № 1(4). С. 35–49. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-1-35-49
4. Логинов Е. В., Вольф В. В. Исследование параметров технологических схем разработки месторождений песчано-гравийных смесей обратными гидравлическими лопатами // ГИАБ. 2022. № 8. С. 71–84. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_8\_0\_71
5. Kongar-Syuryun C. B., Aleksakhin A. V., Eliseeva E. N., Zhaglovskaya A. V., Klyuev R. V., Petrusevich D. A. Modern technologies providing a full cycle of geo-resources development // Resources. 2023. No. 12(4). P. 50. DOI: 10.3390/resources12040050
6. Литвин О. И., Литвин Я. О., Тюленев М. А., Марков С. О. Об определении параметров забойных блоков при ведении горных работ обратными гидравлическими лопатами // Горная промышленность. 2021. № 6. С. 76–81. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81
7. Katsubin A., Markov S., Khoreshok A., Tyulenev M. Selection of excavating equipment for the outcraging development of the coal-bearing zone // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 174. Art. 01027. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401027
8. Логинов Е. В., Тюленева Т. А. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата // Уголь. 2021. № 12(1149). С. 6–10. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10
9. Кацубин А. В., Федотов А. А. Систематизация горно-геологических условий угленасыщенных и безугольных зон разрезов Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2019. № 3(6). С. 60–75. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-60-75
10. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Tavasiev V. K., Gobeev M. A. Influence of transport and road complex on the natural-technical system // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VIII International Scientific Conference Transport of Siberia, Novosibirsk. 2020. Vol. 918. Art. 012223. DOI: 10.1088/1757-899X/918/1/012223
11. Лесин Ю. В., Лешуков Т. В. Экономические затраты на природоохранную деятельность в Кемеровской области // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. № 4(98). С. 73–74.
12. Дубинкин Д. М. Методика определения нагрузок, действующих при погрузке и разгрузке грузовой платформы (кузова) карьерного самосвала // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3(161). С. 31–49. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49
13. Makridin E., Markov S., Murko E., Lesin Yu., Hellmer M. Theoretical background of quarry wastewater filtering through filters of coarse-grained blasted overburden rocks // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 174. Art. 01056. DOI: 10.1051/e3sconf/202017401056
14. Беляева О. В., Гора Н. В., Горелкина А. К., Голубева Н. С., Иванова Л. А. Анализ процесса выщелачивания вскрышных пород как дополнительного источника поступления некоторых ионов в карьерные сточные воды // Экология промышленного производства. 2023. № 3(123). С. 33–36. DOI: 10.52190/2073-2589\_2023\_3\_33
15. Горелкина А. К., Тимошук И. В., Голубева Н. С., Беляева О. В., Михайлова Е. С. Способы снижения воздействия горнодобывающей отрасли на водные экосистемы // ГИАБ. 2023. № 7. С. 64–75. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_64
16. Murko E., Kalashnikov V., Gorbachev A., Mukhomedzyanov I. Using of shell filtering constructions for concentrating plant's coal slurry dewatering // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 105. Art. 02029. DOI: 10.1051/e3sconf/201910502029
17. Марков С. О., Мурко Е. В., Непша Ф. С. Гранулометрический состав отвальных массивов разрезов Кузбасса // Горные науки и технологии. 2021. Т. 6. № 4. С. 259–266. DOI 10.17073/2500-0632-2021-4-259-266
18. Zavadsky J., Zavadska Z., Lisnik A. Design of methodological platform to support the integration of standardized quality management systems applicable in the mining industry // Acta Montanistica Slovaca. 2022. Vol. 27(4). P. 1017–1027. DOI: 10.46544/AMS.v27i4.15
19. Behún M., Knežo D., Cehlár M., Knapčíková L., Behúnová A. Recent application of dijkstra's algorithm in the process of production planning // Applied Sciences. 2022. Vol. 12(14). Art. 7088. DOI: 10.3390/app12147088
20. Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H., En-yu W., Zhi-yi G., Dong-qing N., Shao-kun M. Numerical modelling of retaining structure displacements in multi-bench retained excavations // Acta Geotechnica. 2020. Vol. 15(9). P. 2691–2703. DOI: 10.1007/s11440-020-00947-3

21. Conigliaro R. A., Kerzhner A. A., Paredis C. J. J. Model-based optimization of a hydraulic backhoe using multi-attribute utility theory // SAE International Journal of Materials and Manufacturing. 2009. Vol. 2(1). P. 293–309. DOI: 10.4271/2009-01-0565

22. Зырянов И. В., Лель Ю. И., Ильбульдин Д. Х., Мартынов Н. В., Ганиев Р. С. Производительность выемочно-погрузочного оборудования // Известия вузов. Горный журнал. 2016. № 8. С. 11–20.

Поступила в редакцию 17 октября 2023 года

#### Сведения об авторах:

**Хорешок Алексей Алексеевич** – доктор технических наук, директор Горного института Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: haa.omit@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3261-0933>

**Дубинкин Дмитрий Михайлович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8193-9794>

**Литвин Ярослав Олегович** – кандидат технических наук, директор филиала АО УК «Кузбассразрезуголь» «Моховский угольный разрез». E-mail: litvinyao@kuzstu.ru

**Марков Сергей Олегович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры открытых горных работ Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: markovso@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3209-0296>

**Тюленев Максим Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой открытых горных работ Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: tma.geolog@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0227-8837>

DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34

## Changes in hydraulic backhoe capacity under different schemes of overburden loading into the dump trucks

Aleksei A. Khoreshok<sup>1</sup>, Dmitrii M. Dubinkin<sup>1</sup>, Iaroslav O. Litvin<sup>2</sup>, Sergei O. Markov<sup>1</sup>, Maksim A. Tiulenev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> T. F. Gorbachev State Technical University, Kemerovo, Russia.

<sup>2</sup> UK Kuzbassrazrezugol OAO Mokhovskiy coal mine (branch), Mokhovo village, Kemerovsky region, Russia.

#### Abstract

**Introduction.** Hydraulic backhoe is currently one of the main types of extracting-loading equipment in open-pit mining. The range of their operating parameters allows for both upward and downward digging when stripping the overburden and mining minerals. Extensive commercial experience has shown that excavators with downward digging and loading are the most productive, while other digging and loading options result in decreased productivity. However, downward digging and loading requires a constant determination of the backhoe's ability to completely excavate the face and ensure safe loading into the transport. The authors try to prove the need to adjust the basic principles for calculating open-pit mining technology parameters as applied primarily to bedded coal deposits.

**Research objective** is to determine the potential decrease in the capacity of mining machines within the excavator-dump truck complex under their various relative positions on the bench.

**Methods of research.** Actual data on the net operating time of a backhoe during a shift were used together with time study and statistical data about the time of dump truck loading, exchange, and maneuvering in the face and on the dump.

**Results.** It was determined that it is the capacity of a backhoe that is most affected by external factors. A method has been developed for assessing the degree of capacity reduction when a particular factor changes.

**Conclusions.** Directions for future research have been identified. It was found that to obtain accurate dependencies, calculations are required for all possible options for the joint operation of excavation and transport equipment in a specific open pit. It is also necessary to take into account possible changes in the process flow parameters of a hydraulic backhoe due to convertible attachments, a bucket arm and a bucket.

**Keywords:** hydraulic backhoe; open-pit mining; effective capacity; dump truck; open-pit automobile transport; excavation face block; motion trajectory; cutting edge; bucket teeth.

**Acknowledgments.** The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under agreement with T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University dated September 30, 2022 No. 075-15-2022-1198 within the framework of the Integrated scientific and technical program of full innovation cycle “Development and implementation of a set of technologies in the areas of solid minerals exploration and production, industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing from coal feed, under the consistent reduction of the environmental impact and hazard to population” (“Clean Coal – Green Kuzbass”) within the procedure of “Development and manufacture of an unmanned shuttle dump truck with a lifting capacity of 220 tons” within the research and development work.

## REFERENCES

1. Litvin O. I., Khoreshok A. A., Dubinkin D. M., Markov S. O., Stenin D. V., Tiulenev M. A. Analysis of methods for calculating the productivity of open-pit hydraulic shovels and backhoes. *Gornaia promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2022; 5: 112–120. (In Russ.) Available from: doi: 10.30686/1609-9192-2022-5-112-120
2. Milyi S. M. Evaluation of technology for development of inclined and steep coal deposits in Kuzbass. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela = Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2020; 1(8): 45–73. (In Russ.) Available from: doi: 10.26730/2618-7434-2020-1-45-73
3. Tiuleneva E. A., Lesin Iu. V., Litvin Ia. O. Research of the coal-bearing zones mining technology at Kuzbass open pits using simple and complex faces. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela = Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019; 1(4): 35–49. (In Russ.) Available from: doi: 10.26730/2618-7434-2019-1-35-49
4. Loginov E. V., Volf V. V. Parameters of flow charts for hydraulic backhoe excavation of sand-and-gravel deposits. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2022; 8: 71–84. (In Russ.) Available from: doi: 10.25018/0236\_1493\_2022\_8\_0\_71
5. Kongar-Syuryun Ć. B., Aleksakhin A. V., Eliseeva E. N., Zhaglovskaya A. V., Klyuev R. V., Petrusevich D. A. Modern technologies providing a full cycle of geo-resources development. *Resources*. 2023; 12(4): 50. Available from: doi: 10.3390/resources12040050
6. Litvin O. I., Litvin Ia. O., Tiulenev M. A., Markov S. O. On determining the parameters of face blocks during mining operations with backhoes. *Gornaia promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2021; 6: 76–81. (In Russ.) Available from: doi: 10.30686/1609-9192-2021-6-76-81
7. Katsubin A., Markov S., Khoreshok A., Tyulenev M. Selection of excavating equipment for the outpacing development of the coal-bearing zone. *E3S Web of Conferences*. 2020; 174: 01027. Available from: doi: 10.1051/e3sconf/202017401027
8. Loginov E. V., Tiuleneva T. A. Control of quarry parameters to improve the efficiency of hydraulic backhoes. *Ugol = Coal*. 2021; 12(1149): 6–10. (In Russ.) Available from: doi: 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10
9. Katsubin A. V., Fedotov A. A. Systematization of the mining and geological conditions of the coal-bearing and coal-free zones of the Kuzbass open pits. *Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela = Journal of Mining and Geotechnical Engineering*. 2019; 3(6): 60–75. (In Russ.) Available from: doi: 10.26730/2618-7434-2019-3-60-75
10. Bosikov I. I., Klyuev R. V., Tavasiev V. K., Gobeev M. A. Influence of transport and road complex on the natural-technical system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. VIII International Scientific Conference Transport of Siberia, Novosibirsk*. 2020; 918: 012223. Available from: doi: 10.1088/1757-899X/918/1/012223
11. Lesin Iu. V., Leshukov T. V. Economic payments for environmental protection in kemerovo region. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of The Kuzbass State Technical University*. 2013; 4(98): 73–74. (In Russ.)
12. Dubinkin D. M. Method of determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) career self-dump. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining Equipment and Electromechanics*. 2022; 3(161): 31–49. (In Russ.) Available from: doi: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49
13. Makridin E., Markov S., Murko E., Lesin Yu., Hellmer M. Theoretical background of quarry wastewater filtering through filters of coarse-grained blasted overburden rocks. *E3S Web of Conferences*. 2020; 174: 01056. Available from: doi: 10.1051/e3sconf/202017401056
14. Beliaeva O. V., Gora N. V., Gorelkina A. K., Golubeva N. S., Ivanova L. A. Analysis of the overburden leaching process as an additional source of some ions entering quarry wastewater. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva = Industrial Ecology*. 2023; 3(123): 33–36. (In Russ.) Available from: doi: 10.52190/2073-2589\_2023\_3\_33
15. Gorelkina A. K., Timoshchuk I. V., Golubeva N. S., Beliaeva O. V., Mikhailova E. S. Reduction of impact of mining on water ecosystems. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2023; 7: 64–75. (In Russ.) Available from: doi: 10.25018/0236\_1493\_2023\_7\_0\_64

16. Murko E., Kalashnikov V., Gorbachev A., Mukhomedzyanov I. Using of shell filtering constructions for concentrating plant's coal slurry dewatering. *E3S Web of Conferences*. 2019; 105: 02029. Available from: doi: 10.1051/e3sconf/201910502029

17. Markov S. O., Murko E. V., Nepsha F. S. Grain size distribution of waste rock masses of Kuzbass coal strip mines. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2021; 6(4): 259–266. (In Russ.) Available from: doi 10.17073/2500-0632-2021-4-259-266

18. Zavadsky J., Zavadska Z., Lisnik A. Design of methodological platform to support the integration of standardized quality management systems applicable in the mining industry. *Acta Montanistica Slovaca*. 2022; 27(4): 1017–1027. Available from: doi: 10.46544/AMS.v27i4.15

19. Behún M., Knežo D., Cehlár M., Knapčíková L., Behúnová A. Recent application of dijkstra's algorithm in the process of production planning. *Applied Sciences*. 2022; 12(14): 7088 Available from: doi: 10.3390/app12147088

20. Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H., En-yu W., Zhi-yi G., Dong-qing N., Shao-kun M. Numerical modelling of retaining structure displacements in multi-bench retained excavations. *Acta Geotechnica*. 2020; 15(9): 2691–2703. Available from: doi: 10.1007/s11440-020-00947-3

21. Conigliaro R. A., Kerzhner A. A., Paredis C. J. J. Model-based optimization of a hydraulic backhoe using multi-attribute utility theory. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2009; 2(1): 293–309. Available from: doi: 10.4271/2009-01-0565

22. Zyrianov I. V., Lel Iu. I., Ilbuldin D. Kh., Martynov N. V., Ganiev R. S. Capacity of winning-loading equipment. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2016; 8: 11–20. (In Russ.)

Received 17 October 2023

#### Information about the authors:

**Aleksei A. Khoreshok** – DSc (Engineering), Director of Mining Institute, T. F. Gorbachev State Technical University. E-mail: haa.omit@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3261-0933>

**Dmitrii M. Dubinkin** – PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Mining Machines and Complexes, T. F. Gorbachev State Technical University. E-mail: ddm.tm@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8193-9794>

**Iaroslav O. Litvin** – PhD (Engineering), Director of a branch of UK Kuzbassrazrezugol OAO Mokhovskoy coal mine. E-mail: litvinyao@kuzstu.ru

**Sergei O. Markov** – PhD (Engineering), Associate Professor, Department of Mining Machines and Complexes, T. F. Gorbachev State Technical University. E-mail: markovso@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3209-0296>

**Maksim A. Tiulenev** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of open pit mining, T. F. Gorbachev State Technical University. E-mail: tma.geolog@kuzstu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0227-8837>

**Для цитирования:** Хорешок А. А., Дубинкин Д. М., Литвин Я. О., Марков С. О., Тюленев М. А. Об изменении производительности обратных гидравлических лопат при разных схемах погрузки вскрыши в карьерные самосвалы // Известия вузов. Горный журнал. 2024. № 4. С. 26–34. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34

**For citation:** Khoreshok A. A., Dubinkin D. M., Litvin Ia. O., Markov S. O., Tiulenev M. A. Changes in hydraulic backhoe capacity under different schemes of overburden loading into the dump trucks. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = Minerals and Mining Engineering*. 2024; 4: 26–34 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2024-4-26-34