



УДК 62.213

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПОГРУЗКИ ВСКРЫШНОЙ ПОРОДЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА БЕЛАЗ-75310 (240 Т)

Дубинкин Д.М., Исмаилова Ш.Я., Ялышев А.В.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева



Информация о статье

Поступила:
29 октября 2023 г.

Рецензирование:
28 ноября 2023 г.

Принята к печати:
04 декабря 2023 г.

Ключевые слова:

добыча полезных ископаемых,
открытые горные работы,
коэффициент использования
грузоподъемности, карьерный
самосвал, грузовая платформа,
МДЭ, вскрышная порода,
автотранспорт, выемочно-
погрузочные работы

Аннотация.

Определение коэффициента использования грузоподъемности карьерного самосвала, с учетом физико-механических свойств горной массы и параметров погрузки, является одной из актуальных задач современного горного производства. Целью данного исследования является исследование влияния последовательности погрузки вскрышной породы в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-75310. Проанализированы параметры выемочно-погрузочного оборудования и схемы загрузки вскрышной породы в грузовую платформу карьерного самосвала 240 т. Разработана имитационная модель процесса погрузки вскрышной породы в грузовую платформу карьерного самосвала, проведено имитационное моделирование и получены значения массы груза как в единичном ковше, так и в целом в грузовой платформе. Проведена валидация полученных результатов имитационного моделирования процесса загрузки вскрышной породы путем сравнения полученных моделей и фактической геометрией шапки в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ-75310. Представлены зависимости массы груза в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ-75310 от количества ковшей при погрузке экскаваторами Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35. Выявлено влияние последовательности погрузки вскрышной породы в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала.

Для цитирования: Дубинкин Д.М., Исмаилова Ш.Я., Ялышев А.В. Влияние последовательности погрузки вскрышной породы на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-75310 (240 т) // Техника и технология горного дела. – 2023. – № 4(23). – С. 103-118. – DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-103-118, EDN: QDWOHF

Введение

При производственном планировании для транспортирования горной массы выбирают карьерные самосвалы (КС) в первую очередь из имеющейся техники у горного предприятия, обладающей необходимой грузоподъемностью. Достаточно широкое применение нашли КС грузоподъемностью 240 т производителя БелАЗ модели 75310. Данные КС применяются как на вскрышных, так и на добычных работах.

Техническая производительность КС зависит от эффективности погрузочных работ и зависит в том числе от коэффициента использования грузоподъемности (K_p), который определяется как отношение массы груза в ГП КС (P_g , т) к номинальной грузоподъемности КС (P_n , т).



$$K_p = \frac{P_\Gamma}{P_H} \quad (1)$$

Анализ работ [1-7] свидетельствует, что исследованию вопросов по установлению влияния последовательности погрузки горной массы в грузовую платформу (ГП) на коэффициент использования грузоподъемности КС внимания не уделяется в достаточной мере. Поэтому исследование коэффициента использования грузоподъемности КС, с учетом физико-механических свойств горной массы и последовательности погрузки на основе имитационного моделирования методом дискретных элементов (МДЭ), является актуальным.

Постановка цели и задач

Целью работы является исследование влияния последовательности погрузки вскрышной породы в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала БелАЗ-75310 (г/п 240 т).

Для достижения цели должны быть решены следующие задачи:

- проанализировать параметры выемочно-погрузочного оборудования, применяемого при экскавации вскрышной породы;
- проанализировать существующие схемы загрузки вскрышной породы в ГП КС;
- разработать модели ковшей экскавационного оборудования, кузова транспортного оборудования и произвести имитационное моделирование МДЭ [6-9];
- оценить влияние последовательности погрузки вскрышной породы в ГП на коэффициент использования грузоподъемности КС.

Данные исследования применялись в ходе выполнения работ по проекту «Создание высокотехнологичного производства автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 тонн...» на этапе эскизного проекта в части разработки математических моделей и проведения имитационного моделирования режимов эксплуатации ГП КС.

Параметры горного оборудования и схемы загрузки вскрышной породы в ГП КС БелАЗ 75310

Анализ экскаваторно-автомобильных комплексов Кемеровской области показал, что угольные разрезы применяют различные схемы работ в зависимости от имеющегося парка горной техники [10-13]. Для исследований выбраны следующие комплексы оборудования:

- обратная гидравлическая лопата Komatsu PC 2000 и КС БелАЗ-75310;
- прямая механическая лопата ЭКГ-35 и КС БелАЗ 75310.

Экскаватор Komatsu PC 2000 оснащается универсальным ковшом объемом с «шапкой» по SAE 2:1 – 12 м³, а ЭКГ-35 – 38 м³.

КС БелАЗ 75310 оснащаются ГП объемом: геометрический – 102,4 м³; с «шапкой» 2:1 – 141,1 м³. Для исследований выбрана ГП КС БелАЗ 75310 без надставных бортов, так как такие модели КС нашли широкое применение на угольных разрезах Кузбасса [14-27]. В зависимости от физико-механических свойств горной массы ГП комплектуются надставными бортами с целью обеспечения заявленной грузоподъемности КС.

Анализ существующих схем загрузки вскрышной породы в ГП КС показал, что на разрезах Кузбасса применяют определенные варианты схем загрузки горной массы (Рис. 1-а) в зависимости от объема ковша экскаватора и грузоподъемности КС. На Рис. 1 и 2 представлены выбранные схемы загрузки вскрышной породы экскаваторами Komatsu PC 2000 (Рис. 1-б, Рис. 2-а) и ЭКГ-35 (Рис. 1-с; Рис. 2-б) в ГП КС БелАЗ-75310, где цифрами показана последовательность погрузки вскрышной породы ковшами в ГП КС.

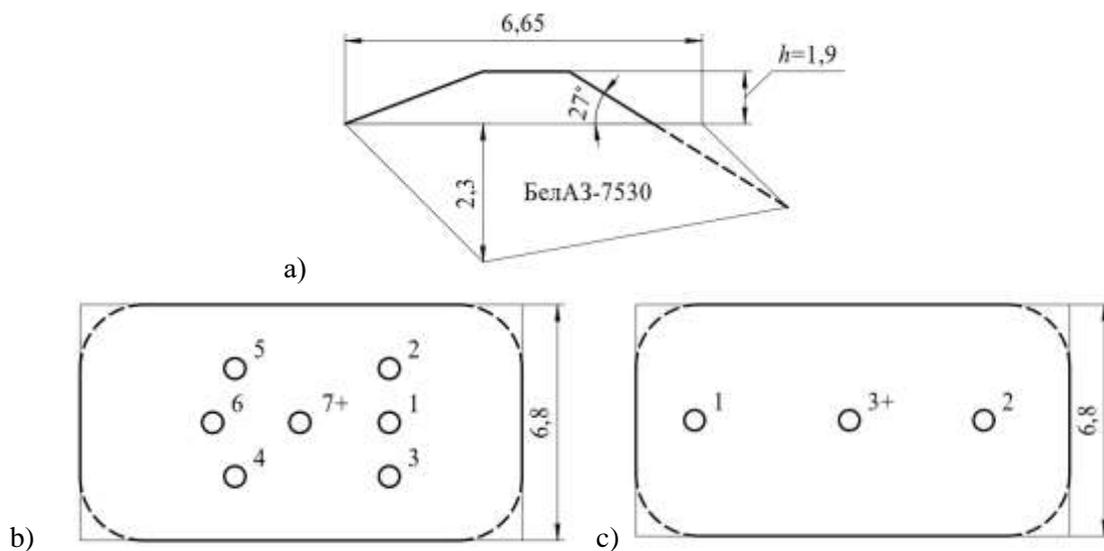


Рис. 1. Схема загрузки вскрышной породы в грузовую платформу карьерного самосвала БелАЗ 75310: а) главный вид; б) для ковшей объемом $< 20 \text{ м}^3$ (РС 2000); в) для ковшей объемом $> 20 \text{ м}^3$ (ЭКГ-35)

Fig. 1. Scheme of loading overburden into the dump body of the BelAZ 75310 dump truck: a) main view; b) for buckets with a volume of $< 20 \text{ m}^3$ (PC 2000); c) for buckets with a volume of $> 20 \text{ m}^3$ (EKG-35)

Имитационное моделирование МДЭ процесса погрузки вскрышной породы в ГП КС

Для имитационного моделирования процесса погрузки вскрышной породы в ГП КС разработаны:

- модели ковшей экскаваторов Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35, общий вид моделей ковшей с вскрышной породой представлены на Рис. 2.;
- модель ГП КС БелАЗ 75310 (Рис. 3, Рис. 4) без надставных бортов.

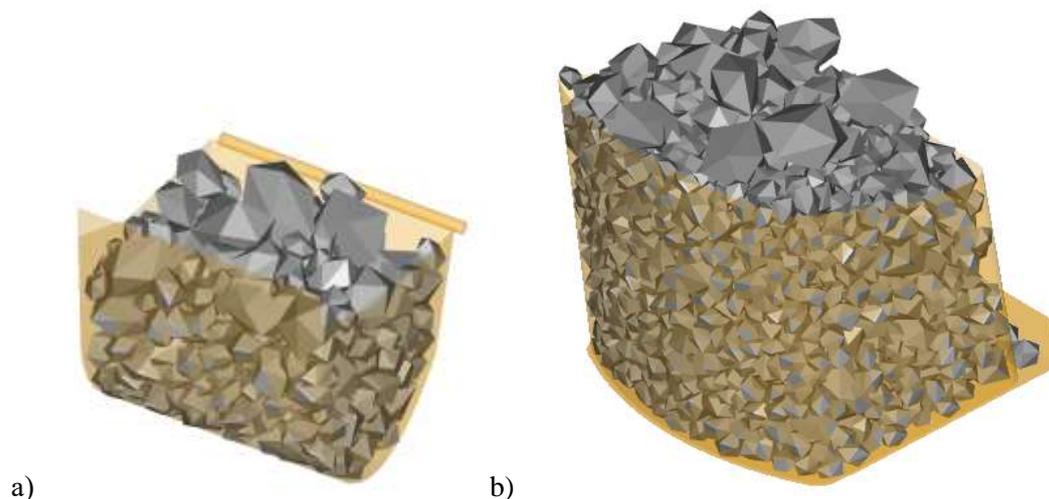


Рис. 2. Общий вид модели ковша с вскрышной породой: а) РС 2000; б) ЭКГ-35.
Fig. 2. General view of the bucket with overburden model: а) PC 2000; б) EKG-35.

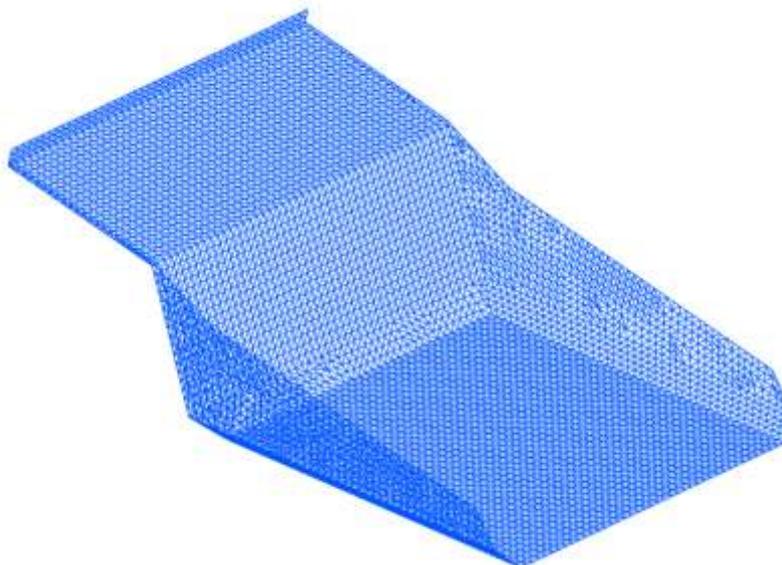


Рис. 3. Общий вид модели грузовой платформы карьерного самосвала БелАЗ 75310
Fig. 3. General view of the dump body model of the BelAZ 75310 dump truck

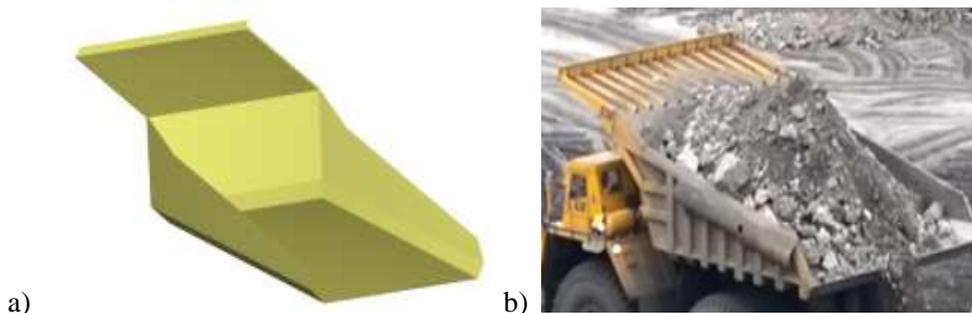


Рис. 4. Сравнение разработанной модели (а) и существующей (б) грузовой платформы карьерного самосвала БелАЗ 75310
Fig. 4. Comparison of the developed model (a) and the existing (b) dump body of the BelAZ 75310 dump truck

Модели ковшей и ГП КС БелАЗ 75310 (Рис. 3, Рис. 4) для имитационного моделирования МДЭ были упрощены, так как в процессе моделирования учитываются только те поверхности, которые непосредственно контактируют с сыпучим материалом.

Параметры модели вскрышной породы приняты из ранее проведенных исследований [28-32]. Насыпная плотность вскрышной породы (p_n , т/м³) для имитационного моделирования МДЭ выбрана двух значений: *min* (1,74 т/м³) и *max* (2,15 т/м³) [33-35], так как она может варьироваться из-за различных коэффициентов разрыхления полезного ископаемого. Гранулометрический состав вскрышной породы был упрощен, минимальный размер частиц принят как 0,25 м. Гранулометрический используемый в имитационном моделировании состав представлен в Таблице 1.

Таблица 1. Гранулометрический состав вскрышной породы
Table 1. Granulometric composition of overburden

Размер фракции, м	0,7	0,6	0,4	0,25
Содержание в %	100,0	88,0	61,0	30,3



С целью приближения к реальным условиям эксплуатации ГП КС, вскрышная порода была смоделирована в виде полигидронов (Рис. 5) с количеством граней, равным 10.

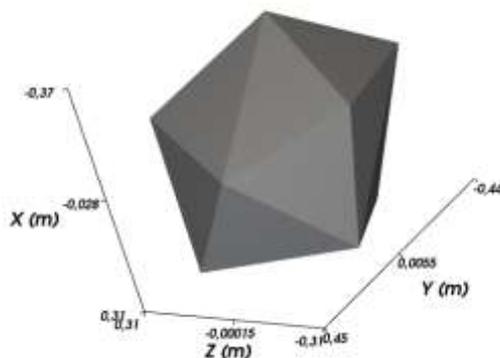


Рис. 5. Геометрия частицы
Fig. 5. Particle geometry

Расчеты выполнялись в программном обеспечении *Rocky DEM*:

- вводились параметры модели вскрышной породы;
- экспортировались модели ковшей и ГП КС БелАЗ 75310;
- указывались места погрузки, высота высыпания и время процесса загрузки вскрышной породой ГП КС для ковшей различных моделей на основании схемы загрузки сыпучего материала в ГП КС БелАЗ 75310 (Рис. 1).

Высота высыпания вскрышной породы из ковша и время процесса загрузки в ГП КС определены на основе эксплуатационных и хронометражных измерений на разрезах Кузбасса.

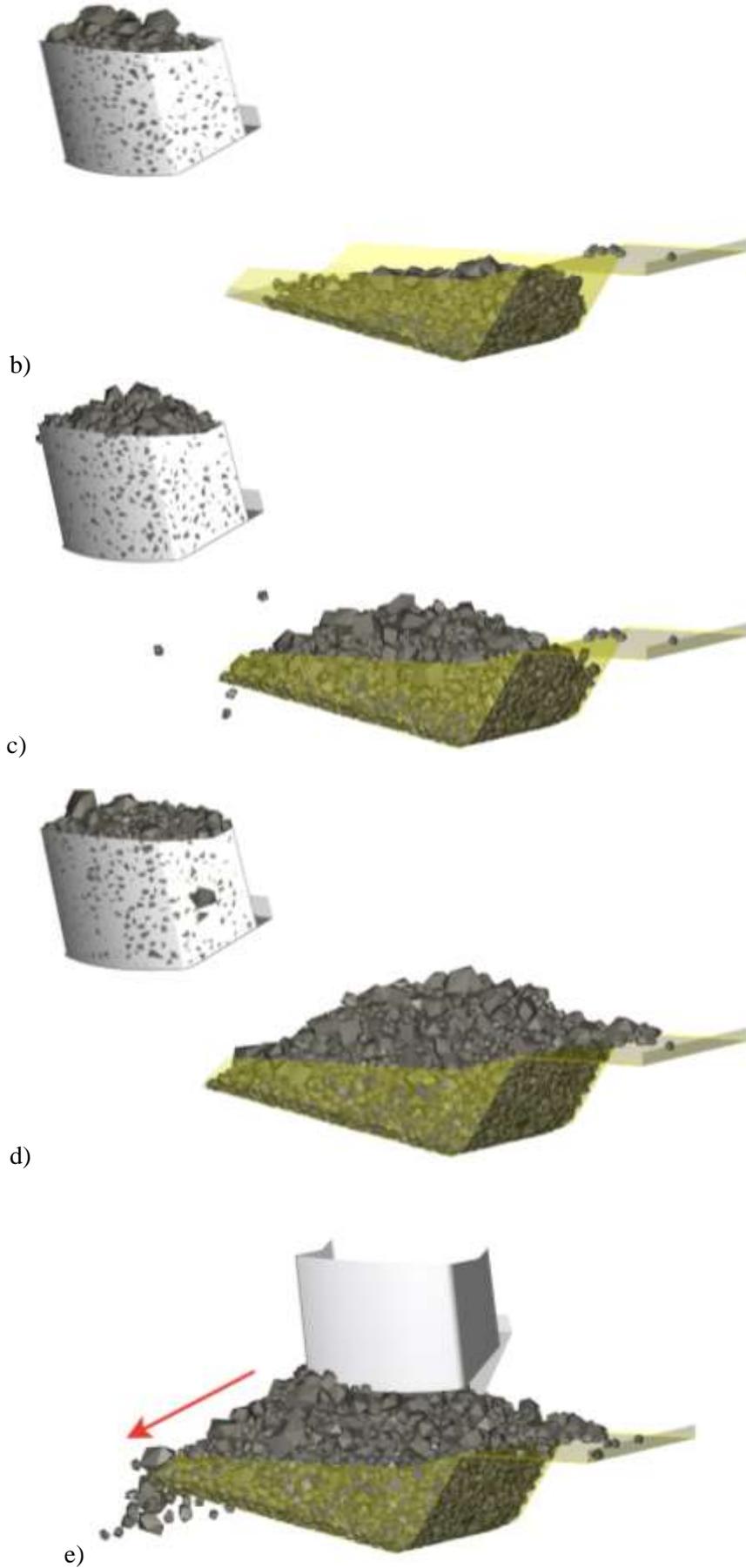
Для упрощения процесса моделирования вскрышная порода объема, который характерен для черпания вскрышной породы для каждого из ковшей, согласно SAE 2:1 [6], помещалась в ковш без черпания. Далее ковш опрокидывался и/или высыпался в ГП КС БелАЗ 75310.

Разработанная имитационная модель процесса загрузки горной массы в ГП КС подвергалась расчетам МДЭ.

По результатам имитационного моделирования МДЭ процесса погрузки сыпучего материала в ГП получены кинограммы. Кинограмма с анимацией моделирования при погрузке экскаватором ЭКГ-35 в КС БелАЗ 75310 в зависимости от количества ковшей и m_{in} насыпной плотности вскрышной породы ($p_n = 1,7 \text{ т/м}^3$) представлена ниже: на Рис. 6-а показана пустая ГП и первый ковш с вскрышной породой, на Рис. 6-б показана ГП с вскрышной породой от первого ковша и второй ковш со вскрышной породой и т.д. На Рис. 6-е показано направление просыпания (потерь) вскрышной породы из ГП КС. На Рис. 6-ф приведен вид заполненной вскрышной породой ГП КС БелАЗ 75310.



а)





f)

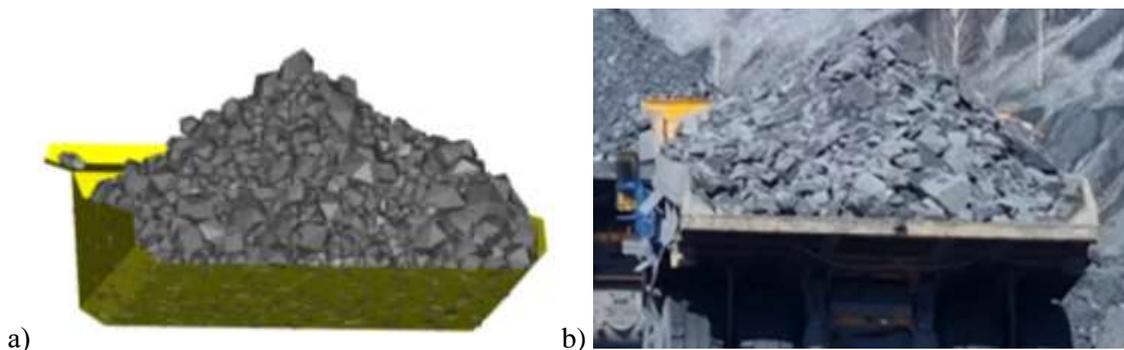
Рис. 6. Кинограмма с анимацией моделирования при погрузке грузовых платформ карьерного самосвала БелАЗ 75310

Fig. 6. Kinogram with animation of simulation during loading of dump body of the BelAZ 75310 dump truck

Результаты моделирования процесса погрузки вскрышной породы в ГП КС

По результатам моделирования получены заполненные вскрышной породой ГП КС БелАЗ 75310 и значения массы груза в ГП КС (P_r , т).

Для сравнения геометрии шапок моделей вскрышной породы и фактической в ГП КС БелАЗ 75310 выполнена валидация полученных результатов. На Рис. 7 показано сравнение полученной геометрии шапки модели (а) и фактической (б) при погрузке экскаватором Komatsu PC 2000 в ГП КС БелАЗ 75310 с насыпной плотностью вскрышной породы $p_n = 2,15 \text{ т/м}^3$.



a)

b)

Рис. 7. Сравнение полученной геометрии шапки модели (а) и фактической (б) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 75310

Fig. 7. Comparison of the obtained geometry of the model cap (a) and the actual one (b) in the dump body of the BelAZ 75310 dump truck

Анализ Рис. 7 показал соответствие полученной геометрии шапки модели и фактической в ГП КС БелАЗ 75310.

Рассмотрим геометрию шапки (Рис. 1-а) согласно схеме загрузки вскрышной породы экскаваторами Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35 в ГП КС БелАЗ-75310 и сравним ее с полученными моделями при имитационном моделировании (Рис. 8). На Рис. 8 различными цветами показана последовательность погрузки материала с различной насыпной плотностью ковшами в ГП КС (Рис. 1 б и Рис. 1 с).

Анализ полученных геометрических параметров шапок и распределение вскрышной породы в ГП КС БелАЗ-75310 показал, что:

– параметры шапок отличаются из-за особенностей погрузки разными экскаваторами, согласно схеме загрузки (Рис. 1);

– высота h_{max} сформирована отдельным крупным куском вскрышной породы (Рис. 8-б) и не учитывается при расчете высоты шапки;

– полученная в результате последовательной загрузки вскрышной породы ковшом экскаватора PC 2000 геометрия шапки (Рис. 8-б) приближена к фактической (Рис. 7).

Разница в геометрических параметрах объясняется особенностями процесса погрузки вскрышной породы в ГП и зависит от количества ковшей, высоты высыпания и насыпной



плотности вскрышной породы в ковше экскаватора, которые определяют динамику движения дискретных элементов и соответственно формируют геометрию шапки сыпучего материала.

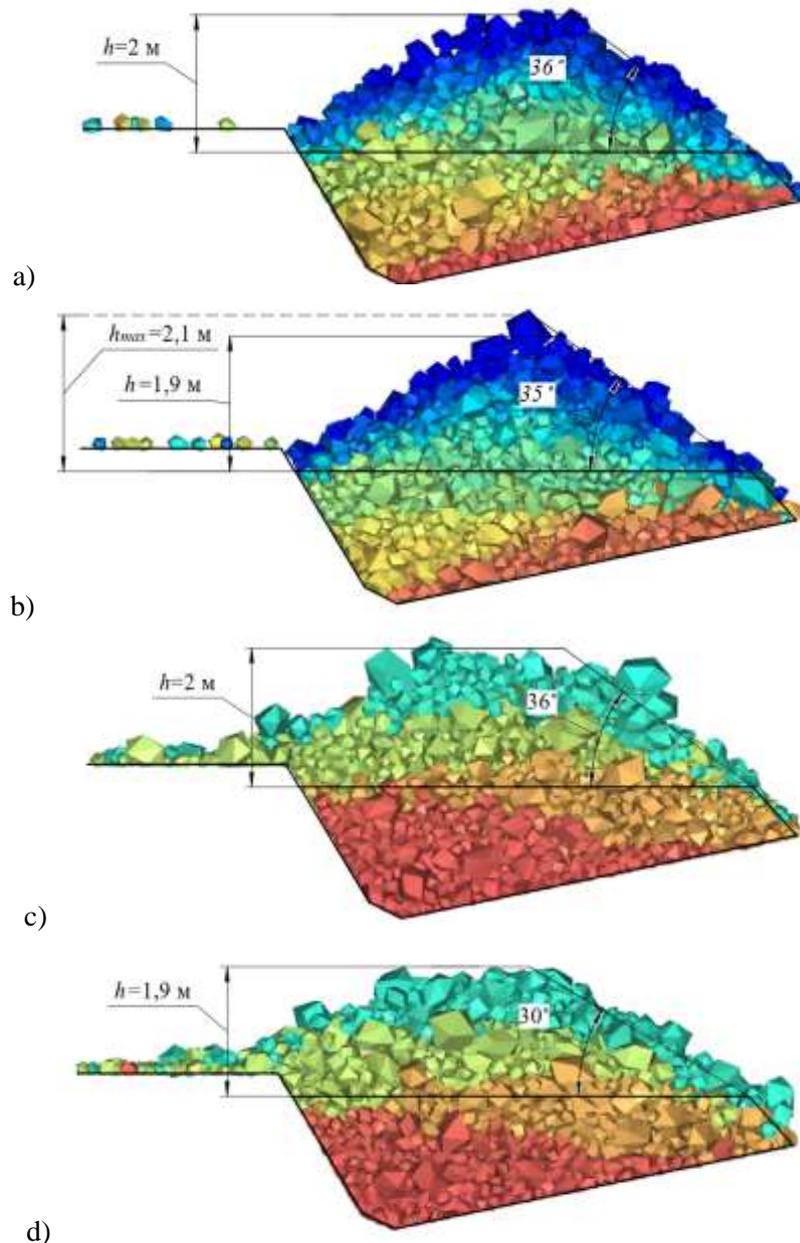


Рис. 8. Геометрия шапок и распределение вскрышной породы в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 75310:

a) PC 2000, $p_n = 1,7 \text{ m/m}^3$; b) PC 2000, $p_n = 2,15 \text{ m/m}^3$; c) ЭКГ-35, $p_n = 1,7 \text{ m/m}^3$; d) ЭКГ-35, $p_n = 2,15 \text{ m/m}^3$

Fig. 8. The geometry of the caps and the distribution of loam and clay in the dump body of the BelAZ 75310 dump truck:

a) PC 2000, $p_n = 1.7 \text{ t/m}^3$; b) PC 2000, $p_n = 2.15 \text{ t/m}^3$; c) ECG-35, $p_n = 1.7 \text{ t/m}^3$; d) ECG-35, $p_n = 2.15 \text{ t/m}^3$

По результатам моделирования получены значения массы груза как единичным ковшом, так и в целом в ГП КС. На основании массива экспериментальных данных построены гистограммы массы груза в ГП КС (P_r , т) в зависимости от количества ковшей (N , шт.), представленные на Рис. 9 и Рис. 10.

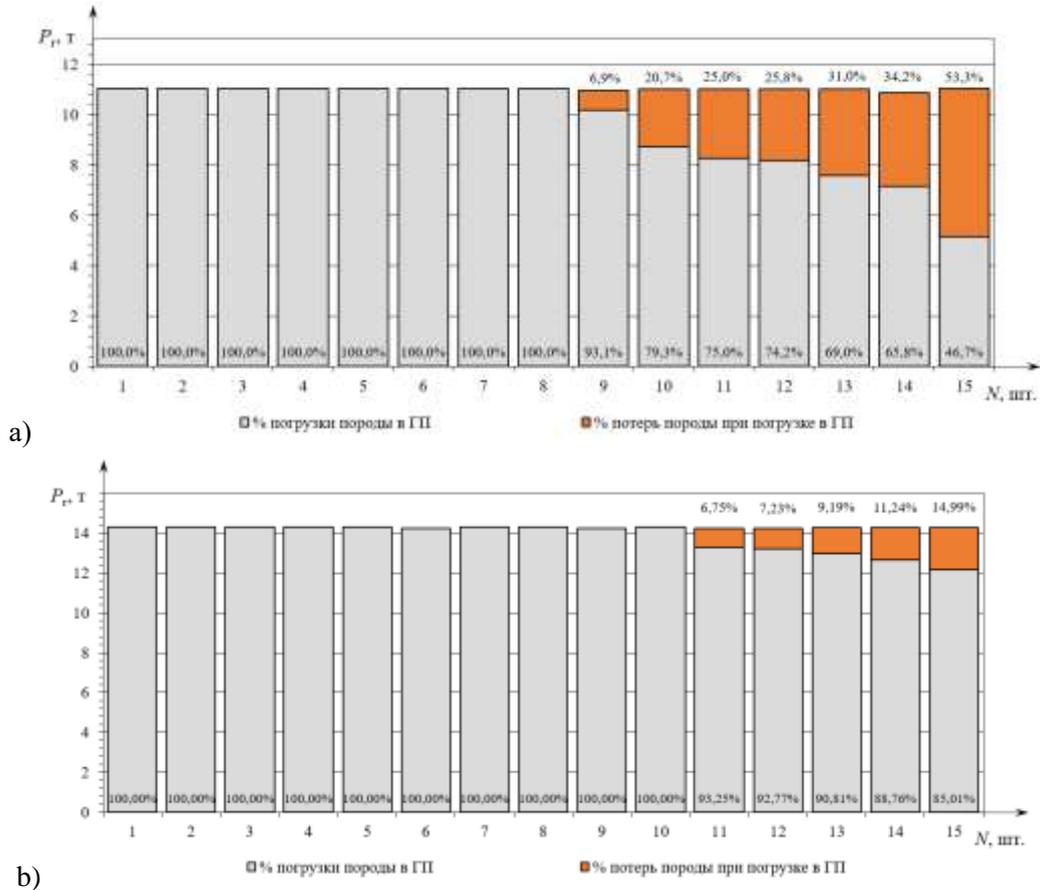


Рис. 9. Зависимость массы груза (P_g, t) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 75310 от количества ковшей ($N, \text{шт.}$) при погрузке экскаватором ЭКГ-35:

а) $p_n = 1,7 \text{ t/m}^3$; б) $p_n = 2,15 \text{ t/m}^3$.

Fig. 9. The dependence of the weight of the cargo (P_g, t) in the dump body of the BelAZ 75310 dump truck on the number of buckets ($N, \text{pcs.}$) when loading with the ECG-35 excavator:

а) $p_n = 1.7 \text{ t/m}^3$; б) $p_n = 2.15 \text{ t/m}^3$.

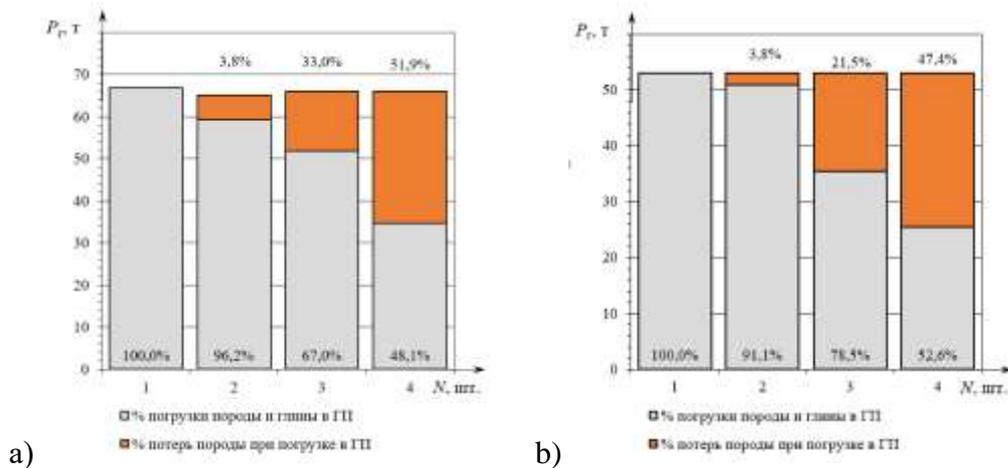


Рис. 10. Зависимость массы груза (P_g, t) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 75310 от количества ковшей ($N, \text{шт.}$) при погрузке экскаватором ЭКГ-35:

а) $p_n = 1,7 \text{ t/m}^3$; б) $p_n = 2,15 \text{ t/m}^3$.

Fig. 10. The dependence of the weight of the cargo (P_g, t) in the dump body of the BelAZ 75310 dump truck on the number of buckets ($N, \text{pcs.}$) when loading with the ECG-35 excavator:

а) $p_n = 1.7 \text{ t/m}^3$; б) $p_n = 2.15 \text{ t/m}^3$.



Анализ зависимостей массы груза в ГП КС БелАЗ 75310 от количества ковшей (Рис. 9 и Рис. 10) показал, что:

- при погрузке экскаватором РС 2000 на 9 и 11 ковшах (в зависимости от насыпной плотности) начинает просыпаться вскрышная порода из ГП;
- при погрузке экскаватором ЭКГ-35 в ГП потери материала происходят начиная со 2 ковша;
- потери массы вскрышной породы в ГП больше у насыпной плотности с меньшим значением $p_n = 1,7 \text{ т/м}^3$ и при погрузке экскаватором ЭКГ-35.

Сведем в Таблицу 2 определенные параметры процесса погрузки вскрышной породы и рассчитаем коэффициент использования грузоподъемности по формуле (1) для каждого рассматриваемого случая.

Таблица 2. Параметры процесса погрузки вскрышной породы в грузовую платформу
Table 2. Parameters of the loam and clay loading process into the dump body

Параметр	Значения			
	РС 2000		ЭКГ-35	
Модель экскаватора:	РС 2000		ЭКГ-35	
объем ковша с «шапкой» по SAE 2:1 – м^3	12		38	
Грузоподъемность КС БелАЗ 75310 – P_n , т	240			
Объем ГП с «шапкой» 2:1 – $V_{\text{ГП}}$, м^3	141,1			
Насыпная плотность – p_n , т/м^3	1,70	2,15	1,70	2,15
Масса груза в ГП КС – P_g , т	143,78	207,15	165,00	212,70
Коэффициент использования грузоподъемности – K_p	0,60	0,86	0,69	0,89

Анализ зависимостей массы груза в ГП КС БелАЗ 75310 от количества ковшей при погрузке вскрышной породы экскаваторами Komatsu РС 2000 и ЭКГ-35 (Рис. 9, Рис. 10) и параметров процесса погрузки вскрышной породы в ГП (Таблица 2) показал, что:

- коэффициент использования грузоподъемности при погрузке породы экскаватором Komatsu РС 2000 при заданных условиях погрузки (15 ковшей) варьируется в диапазоне от 0,60 до 0,86, а для ЭКГ-35 (4 ковша) – от 0,69 до 0,89;
- дополнительная погрузка вскрышной породы одним или двумя ковшами экскаватором РС2000 позволяет повысить коэффициент использования грузоподъемности КС;
- загрузка вскрышной породы экскаватором РС 2000 является предпочтительней, учитывая меньшие потери груза при погрузке (просыпание), чем ЭКГ-35, однако уменьшение объема ковша увеличивает время погрузки и снижает эффективную производительность экскаватора;
- рассматриваемая ГП КС БелАЗ 75310 без надставных бортов удовлетворяет требованиям при погрузке вскрышной породы с насыпной плотностью $p_n = 2,15 \text{ т/м}^3$ по достижению рационального коэффициента использования грузоподъемности в пределах от 0,8 до 0,9 [1, 30, 31, 36];
- установка надставных бортов на ГП КС БелАЗ-75310 с целью увеличения геометрического объема позволит повысить коэффициент использования грузоподъемности.

Основные результаты работы:

- Проанализированы параметры горного оборудования и схемы загрузки вскрышной породы в ГП КС.
- с использованием МДЭ разработана имитационная модель процесса загрузки вскрышной породы в ГП КС.
- Определены параметры процесса погрузки вскрышной породы, необходимые для оценки коэффициента использования грузоподъемности КС для различных случаев.
- Установлено влияние последовательности погрузки вскрышной породы в ГП на коэффициент использования грузоподъемности КС.



– Установлено, что коэффициент использования грузоподъемности КС можно повысить путем уменьшения объема ковша экскаватора, повышением насыпной плотности горной массы, разработки новых ГП КС с учетом процесса погрузки.

– Проведенные исследования являются исходными данными для последующего имитационного моделирования процессов погрузки и разгрузки при создании новых ГП КС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2022-016 от 07.04.2022 г. с ПАО «КАМАЗ» по комплексному проекту «Создание высокотехнологичного производства автономных карьерных самосвалов грузоподъемностью 240 тонн с отечественным тяговым приводом для работы в системе цифровой добычи полезных ископаемых открытым способом», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2023 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Дубинкин Дмитрий Михайлович, к.т.н., доцент кафедры горных машин и комплексов
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Исмаилова Шахназ Ямиловна, аспирант, младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии»
e-mail: ismailovashja@kuzstu.ru

Ялышев Алексей Витальевич, аспирант, младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии»
e-mail: yalyshevav@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Список литературы

1. Хорешок А.А., Стенина Н.А., Кудреватых А.В., Ащеулов А.С. Методика определения рационального коэффициента использования грузоподъемности карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 1(147). – С. 3-9. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-1-3-9.
2. Дубинкин Д.М., Исмаилова Ш.Я. Анализ технических характеристик карьерных самосвалов грузоподъемностью от 218 т до 255 т // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2022 : Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, 23–24 ноября 2022 года – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 4061-4066.
3. Исмаилова Ш.Я. Удельная объемная грузоподъемность карьерных самосвалов // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 30 ноября – 01 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 635-640.
4. Воронов А.Ю., Хорешок А.А., Воронов Ю.Е., Дубинкин Д.М., Воронов А.Ю. Оптимизация параметров экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов // Горная промышленность. – 2022. – № 5. – С. 92-98. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.



5. Аксенов В.В., Дубинкин Д.М., Исмаилова Ш.Я., Ялышев А.В. Обзор конструкций породных платформ карьерных самосвалов // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, 19–20 октября 2021 года, – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 324-332.
6. Хорешок А.А., Данилов С.Н., Дубинкин Д.М., Марков С.О., Тюленев М.А. Некоторые особенности отработки наклонных угольных пластов обратными гидролопатами в комплексе с автосамосвалами грузоподъемностью 220 тонн // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 22. – С. 91-99. – DOI 10.26160/2658-3305-2023-22-91-99.
7. 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.
8. Дубинкин Д.М., Ялышев А.В. Определение статических нагрузок на борт грузовой платформы карьерного самосвала // Горная промышленность. – 2022. – № 6. – С. 137-144. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
9. Дубинкин Д.М. Основы цифрового создания автономных карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 2(160). – С. 39-50. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
10. Стрельников А. В. Опыт применения обратных гидравлических лопат на разрезах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» / А. В. Стрельников, М. А. Тюленев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2011. – № 2(85). – С. 8-12.
11. Тюленев, М.А. Разработка схем забоев для послышной проходки траншей и отработки заходов обратными гидравлическими лопатами / М.А. Тюленев, В.Г. Проноза, А.В. Стрельников // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – №S10. – С. 23-33.
12. Стрельников, А. В. Применение обратных гидравлических лопат при разработке сложноструктурных угольных месторождений Кузбасса / А. В. Стрельников, М. А. Тюленев // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 1. – С. 30-34.
13. Modeling of Three Flat Coal Seams Strata Developing at Open Pit Miming / T. Gvozdikova, S. Markov, N. Demirel, S. Anyona // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 21. – Article 01024. – DOI 10.1051/e3sconf/20172101024.
14. Forecasting of a Thermal Condition of Pneumatic Tires of Dump Trucks / A. Kvasova, B. Gerike, E. Murko et al. // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 21. – Article 03016. – DOI 10.1051/e3sconf/20172103016.
15. 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.
16. Мартянов, В. Л. Оценка сложности отработки карьерных полей угольных месторождений Кузбасса // Техника и технология горного дела. – 2018. – № 1(1). – С. 35-42. – DOI 10.26730/2618-7434-2018-1-35-41.
17. Хорешок А.А., Кацубин А.В., Дубинкин Д.М., Кошелев А.В., Федотов А.А. Обоснование параметров выемочно-погрузочного оборудования для опережающей выемки угольных пластов на разрезах // Уголь. – 2022. – № S12(1162). – С. 82-87. – DOI 10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87.
18. 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, 174, 01027 (2020). – DOI 10.1051/e3sconf/202017401027.
19. 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.org/10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
20. 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.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
21. Логинов Е.В., Вольф В.В. Исследование параметров технологических схем разработки месторождений песчано-гравийных смесей обратными гидравлическими лопатами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – №8. – С. 71-84.
22. Murko E., Kalashnikov A., Gorbachev I. Mukhomedzyanov. Using of Shell Filtering Constructions for Concentrating Plant's Coal Slurry Dewatering // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, article no. 02029. doi.org/10.1051/e3sconf/201910502029.



23. Mikhailov V., Kudrevatykh N., Tyuleneva T. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 134, article no. 01019. doi.org/10.1051/e3sconf/201913401019.
24. 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. DOI: 10.46544/AMS.v27i4.15.
25. 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. DOI: 10.3390/app12147088.
26. Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-peí H. et al. Numerical modelling of retaining structure displacements in multibench retained excavations // Acta Geotechnica. 2020. 15(9). 2691. DOI:10.1007/s11440-020-00947-3
27. 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). 0565
28. Исмаилова Ш. Я. Математическая модель и проведение имитационного моделирования породной грузовой платформы карьерного самосвала // Россия молодая : Сборник материалов хiv всероссийской, научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, Кемерово, 18–21 апреля 2023 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 423051-423055.
29. Ольховатенко В. Е., Трофимова Г. И. Характеристика физико-механических свойств горных пород Ерунаковского Южного месторождения. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2013, (12), 95-105.
30. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 1 / Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. и другие. Под ред. Анистратова К.Ю.: М., ООО «Система максимум», 2019. 640 с.: ил.
31. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 2 / Анистратов Ю.И., Анистратов К.Ю. и другие. Под ред. Анистратова К.Ю.: М., ООО «Система максимум», 2019. 872 с.: ил.
32. Анистратов К.Ю., Градусов М.С., Стремилев В.Я., Тетерин М.В. Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных автосамосвалов в течение срока их эксплуатации // Горная промышленность. – 2006. – №6. – С. 30-34.
33. Исайченков А. Б. Оптимизация сопряженно выполняемых технологических процессов вскрышных работ при применении современных экскаваторно-автомобильных комплексов (на примере разреза «Тугнуйский»). дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 // Исайченков А. Б. – Москва. 2016. – 231 с.
34. Andreas Svanberg. Full-Scale Modelling and Simulation of Bucket Filling and Wear for Mining Rope Shovels. 2021. – 140 с.
35. Шабасев С. Н. Улучшение свойств раздробленных вскрышных пород за счет оптимизации их гранулометрического состава // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – № 5(69). – С. 93-95. DOI:10.13140/RG.2.2.18623.43685.
36. Технология опережающей выемки наклонных и крутых угольных пластов обратными гидравлическими лопатами / А. В. Кацубин, А. А. Хорешок, М. А. Тюленев, С. О. Марков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 11. – С. 27-36. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-11-0-27-36.



INFLUENCE OF OVERBURDEN LOADING SEQUENCE ON LOAD CAPACITY UTILIZATION FACTOR OF DUMP TRUCK BELAZ-75310 (240 TONS)

Dmitry M. Dubinkin, Shakhnaz Ya. Ismailova, Alexey V. Yalyshev

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received:
29 October 2023

Revised:
28 November 2023

Accepted:
04 December 2023

Keywords: mining, open-pit mining, capacity utilization factor, dump truck, loading platform, DEM, overburden, motor vehicles, excavation and loading operations

Abstract.

Determination of the load capacity utilization factor of the dump truck, taking into account the physical and mechanical properties of the rock mass and loading parameters, is one of the urgent tasks of modern mining production. The purpose of this study is to investigate the influence of the sequence of overburden loading into the loading platform on the capacity utilization factor of the dump truck BelAZ-75310. The parameters of the mining and loading equipment and overburden loading schemes into the cargo platform of the 240 t dump truck are analyzed. The simulation model of the process of overburden loading into the cargo platform of the dump truck was developed, simulation modeling was carried out and the values of cargo weight in a single bucket and in the cargo platform as a whole were obtained. Validation of the obtained results of simulation modeling of the overburden loading process by comparing the obtained models and the actual geometry of the cap in the cargo platform of the dump truck BelAZ-75310 is carried out. Dependences of cargo weight in the cargo platform of the dump truck BelAZ-75310 on the number of buckets at loading by excavators Komatsu PC 2000 and EKG-35 are presented. The influence of the sequence of overburden loading into the load platform on the utilization factor of the dump truck capacity is revealed.

For citation Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya., Yalyshev A.V. (2023) Influence of overburden loading sequence on load capacity utilization factor of dump truck BelAZ-75310 (240 tons), *Journal of mining and geotechnical engineering*, 4(23):103. DOI: 10.26730/2618-7434-2023-4-103-118, EDN: QDWOHF

The work is financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under the agreement dated 07.04.2022 № 075-11-2022-016 with PJSC KAMAZ on the integrated project "Development of high-tech production of autonomous mining dump trucks with a lifting capacity of 240 tons with a domestic traction drive for operation in an open-source digital mining system", with participation of T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University in terms of research, development and technological works.

References

1. Khoreshok A.A., Stenina N.A., Kudrevatykh A.V., Ashcheulov A.S. Metodika opredeleniya ratsional'nogo koeffitsienta ispol'zovaniya gruzopod'emnosti kar'ernykh avtosamosvalov // Gornoe oborudovanie i elektromekhanika. – 2020. – № 1(147). – S. 3-9. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-1-3-9.
2. Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya. Analiz tekhnicheskikh kharakteristik kar'ernykh samosvalov gruzopod'emnost'yu ot 218 t do 255 t // Prirodnye i intellektual'nye resursy Sibiri. Sibresurs 2022 : Sbornik materialov XIX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 23–24 noyabrya 2022 goda – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2022. – S. 4061-4066.
3. Ismailova Sh.Ya. Udel'naya ob'emnaya gruzopod'emnost' kar'ernykh samosvalov // Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyakh, mashinostroenii i avtotransporte : Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kemerovo, 30 noyabrya – 01 dekabrya 2022 goda. – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2022. – S. 635-640.



4. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Dubinkin D.M., Voronov A.Yu. Optimizatsiya parametrov ekskavatorno-avtomobil'nykh kompleksov razrezov // Gornaya promyshlennost'. – 2022. – № 5. – S. 92-98. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
5. Aksenov V.V., Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya., Yalyshev A.V. Obzor konstruktivnykh porodnykh platform kar'ernykh samosvalov // Innovatsii v informatsionnykh tekhnologiyakh, mashinostroyeni i avtotransporte : Sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 19–20 oktyabrya 2021 goda, – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet im. T.F. Gorbacheva, 2021. – S. 324-332.
6. Khoreshok A.A., Danilov S.N., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. Nekotorye osobennosti otrabotki naklonnykh ugol'nykh plastov obratnymi gidrolopatami v komplekse s avtosamosvalami gruzopod'emnost'yu 220 tonn // Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroyeniye: nauka i proizvodstvo. – 2023. – № 22. – S. 91-99. – DOI 10.26160/2658-3305-2023-22-91-99.
7. Dubinkin D.M. Metodika opredeleniya nagruzok, deystvuyushchikh pri pogruzke i razgruzke gruzovoy platformy (kuzova) kar'ernogo samosvala // Gornoe oborudovaniye i elektromekhanika. – 2022. – № 3(161). – S. 31-49. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
8. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Opredeleniye staticheskikh nagruzok na bort gruzovoy platformy kar'ernogo samosvala // Gornaya promyshlennost'. – 2022. – № 6. – S. 137-144. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
9. Dubinkin D.M. Osnovy tsifrovogo sozdaniya avtonomnykh kar'ernykh samosvalov // Gornoe oborudovaniye i elektromekhanika. – 2022. – № 2(160). – S. 39-50. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
10. Strel'nikov A. V. Opyt primeneniya obratnykh gidravlicheskiy lopat na razrezakh OAO «UK «Kuzbassrazrezugol'» / A. V. Strel'nikov, M. A. Tyulenev // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – № 2(85). – S. 8-12.
11. Tyulenev, M.A. Razrabotka skhem zaboev dlya posloynoy prokhodki transhey i otrabotki zakhodok obratnymi gidravlicheskiymi lopatami / M.A. Tyulenev, V.G. Pronoza, A.V. Strel'nikov // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). – 2011. – № S10. – S. 23-33.
12. Strel'nikov, A. V. Primeneniye obratnykh gidravlicheskiy lopat pri razrabotke slozhnostrukturnykh ugol'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa / A. V. Strel'nikov, M. A. Tyulenev // Gornoe oborudovaniye i elektromekhanika. – 2011. – № 1. – S. 30-34.
13. Modeling of Three Flat Coal Seams Strata Developing at Open Pit Miming / T. Gvozdkova, S. Markov, N. Demirel, S. Anyona // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 21. – Article 01024. – DOI 10.1051/e3sconf/20172101024
14. Forecasting of a Thermal Condition of Pneumatic Tires of Dump Trucks / A. Kvasova, B. Gerike, E. Murko et al. // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 21. – Article 03016. – DOI 10.1051/e3sconf/20172103016.
15. Katsubin A.V., Fedotov A.A. Sistematzatsiya gorno-geologicheskikh usloviy uglenasyshchennykh i bezugol'nykh zon razrezov Kuzbassa // Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela. – 2019. – № 3(6). – S. 60-75. – DOI 10.26730/2618-7434-2019-3-60-75.
16. Mart'yanov, V. L. Otsenka slozhnosti otrabotki kar'ernykh poley ugol'nykh mestorozhdeniy Kuzbassa // Tekhnika i tekhnologiya gornogo dela. – 2018. – № 1(1). – S. 35-42. – DOI 10.26730/2618-7434-2018-1-35-41.
17. Khoreshok A.A., Katsubin A.V., Dubinkin D.M., Koshelev A.V., Fedotov A.A. Obosnovaniye parametrov vyemochno-pogruzochnogo oborudovaniya dlya operezhayushchey vyemki ugol'nykh plastov na razrezakh // Ugol'. – 2022. – № S12(1162). – S. 82-87. – DOI 10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87.
18. 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, 174, 01027 (2020). – DOI 10.1051/e3sconf/202017401027.
19. Litvin O.I., Litvin Ya.O., Tyulenev M.A., Markov S.O. Ob opredelenii parametrov zaboynykh blokov pri vedenii gornykh rabot obratnymi gidravlicheskiymi lopatami // Gornaya promyshlennost'. – 2021. – №6. – S. 76-81. doi.org/10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.
20. Loginov E.V., Tyuleneva T.A. Upravleniye parametrami kar'era v tselyakh povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya gidravlicheskiy ekskavatorov tipa obratnaya lopata // Ugol'. – 2021. – №12(1149). – S. 6-10. doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.
21. Loginov E.V., Vol'f V.V. Issledovaniye parametrov tekhnologicheskikh skhem razrabotki mestorozhdeniy peschano-graviynykh smesey obratnymi gidravlicheskiymi lopatami // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). – 2022. – №8. – S. 71-84.
22. Murko E., Kalashnikov A., Gorbachev I. Mukhomedzyanov. Using of Shell Filtering Constructions for Concentrating Plant's Coal Slurry Dewatering // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 105, article no. 02029. doi.org/10.1051/e3sconf/201910502029.
23. Mikhailov V., Kudrevatykh N., Tyuleneva T. The research of environmental-and-economic risks of the coal mining enterprise impact on water resources // E3S Web of Conferences. 2019, vol. 134, article no. 01019.



24. Zavadsky J., Zavadská Z., Lisník 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. DOI: 10.46544/AMS.v27i4.15.
25. 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. DOI: 10.3390/app12147088.
26. Hai-zuo Zh., Gang Zh., Xiao-pei H. et al. Numerical modelling of retaining structure displacements in multibench retained excavations // *Acta Geotechnica*. 2020. 15(9). 2691. DOI:10.1007/s11440-020-00947-3
27. 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). 0565
28. Ismailova Sh. Ya. Matematicheskaya model' i provedenie imitatsionnogo modelirovaniya porodnoy gruzovoy platformy kar'ernogo samosvala // *Rossiya molodaya : Sbornik materialov xiv vserossiyskoy, nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem, Kemerovo, 18–21 aprelya 2023 goda. – Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2023. – S. 423051-423055.*
29. Ol'khovatenko V. E., Trofimova G. I. Kharakteristika fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornykh porod Erunakovskogo Yuzhnogo mestorozhdeniya. *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – 2013, (12), 95-105.*
30. Otkrytie gornye raboty – XXI vek. Spravochnik. Tom 1 / Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. i drugie. Pod red. Anistratova K.Yu.: M., OOO «Sistema maksimum», 2019. 640 s.: il.
31. Otkrytie gornye raboty – XXI vek. Spravochnik. Tom 2 / Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. i drugie. Pod red. Anistratova K.Yu.: M., OOO «Sistema maksimum», 2019. 872 s.: il.
32. Anistratov K.Yu., Gradusov M.S., Stremilov V.Ya., Teterin M.V. Issledovanie zakonornostey izmeneniya pokazateley raboty kar'ernykh avtosamosvalov v techenie sroka ikh ekspluatatsii // *Gornaya promyshlennost'*. – 2006. – №6. – S. 30-34.
33. Isaychenkov A. B. Optimizatsiya sopryazhenno vypolnyaemykh tekhnologicheskikh protsessov vskryshnykh rabot pri primenenií sovremennykh ekskavatorno-avtomobil'nykh kompleksov (na primere razreza «Tugnuyskiy»). dis. ... kand. tekhn. nauk: 25.00.22 // Isaychenkov A.B. – Moskva. 2016. – 231 s.
34. Andreas Svanberg. Full-Scale Modelling and Simulation of Bucket Filling and Wear for Mining Rope Shovels. 2021. – 140 s.
35. Shabaev S. N. Uluchshenie svoystv razdroblennykh vskryshnykh porod za schet optimizatsii ikh granulometricheskogo sostava // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2008. – № 5(69). – S. 93-95. DOI:10.13140/RG.2.2.18623.43685.*
36. Tekhnologiya operezhayushchey vyemki naklonnykh i krutykh ugol'nykh plastov obratnymi gidravlicheskimy lopatami / A. V. Katsubin, A. A. Khoreshok, M. A. Tyulenev, S. O. Markov // *Gornyy informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal). – 2020. – № 11. – S. 27-36. – DOI 10.25018/0236-1493-2020-11-0-27-36.*

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2023 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Dmitry M. Dubinkin, Ph.D. (Tech.), associate professor
e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

Shakhnaz Ya. Ismailova – postgraduate student, junior researcher of the Digital Technologies Research Center
e-mail: ismailovashja@kuzstu.ru

Alexey V. Yalyshev – postgraduate student, junior researcher of the Digital Technologies Research Center
e-mail: yalyshevav@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University
650000, Russian Federation, Kemerovo, 28 Vesennaya St.

