

ISSN 1999-4125 (Print)

ISSN 2949-0642 (Online)

Научная статья

УДК 622.271

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-105-118

## ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ПОГРУЗКИ СУГЛИНКА И ГЛИНЫ В ГРУЗОВУЮ ПЛАТФОРМУ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 220 ТОНН

Дубинкин Дмитрий Михайлович, Исмаилова Шахназ Ямиловна

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

\*для корреспонденции: ddm.tm@kuzstu.ru



### Информация о статье

Поступила:

25 ноября 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

10 декабря 2023 г.

Принята к публикации:

12 декабря 2023 г.

Опубликована:

21 декабря 2023 г.

### Ключевые слова:

добыча полезных ископаемых, открытые горные работы, коэффициент использования грузоподъемности, карьерный самосвал, грузовая платформа, МДЭ, глина, суглинок

### Аннотация.

Определение коэффициента использования грузоподъемности карьерного самосвала с учетом особенностей горной массы и погрузки является одной из актуальных задач современного горного производства. Целью данного исследования является исследование влияния процесса погрузки суглинка и глины в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн. Проанализированы параметры горного оборудования и схемы загрузки суглинка и глины в грузовую платформу карьерного самосвала 220 тонн. Разработаны модели горного оборудования и имитационная модель процесса погрузки суглинка и глины в грузовую платформу карьерного самосвала. Проведено имитационное моделирование методом дискретных элементов процесса погрузки суглинка и глины в грузовую платформу карьерного самосвала и получены значения массы груза как единичным ковшом, так и в целом в грузовой платформе. Проведена валидация полученных результатов имитационного моделирования процесса загрузки суглинка и глины путем сравнения полученных моделей и фактической геометрии суглинисто-глинистой шапки в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530. Представлены зависимости массы груза в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530 от количества ковшей при погрузке экскаваторами Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35. Выявлено влияние процесса погрузки суглинка и глины в ГП на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала.

**Для цитирования:** Дубинкин Д.М., Исмаилова Ш.Я. Влияние процесса погрузки суглинка и глины в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 6 (160). С. 105-118. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-105-118, EDN: QNSOJS

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по соглашению от 30.09.2022 г. №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» 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») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.*

### **Введение**

При производственном планировании для транспортирования горной массы выбирают карьерные самосвалы (КС) в первую очередь из имеющейся техники у горного предприятия и с необходимой грузоподъемностью. Наиболее широкое применение нашли КС грузоподъемностью 220 т от производителя БелАЗ модели 7530. Данные КС применяются как на вскрышных работах, так и в забоях.

Техническая производительность КС зависит от эффективности погрузочных работ горной массы и характеризуется коэффициентом использования грузоподъемности ( $K_p$ ), который определяется как отношение массы груза в ГП КС ( $P_r$ , т) к номинальной грузоподъемности КС ( $P_n$ , т).

$$K_p = \frac{P_r}{P_n} \quad (1)$$

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

### **Постановка цели и задач**

Целью работы является исследование влияния процесса погрузки суглинка и глины в грузовую платформу на коэффициент использования грузоподъемности карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн.

Для достижения цели должны быть решены следующие задачи:

- проанализировать параметры горного оборудования, применяемого при погрузке суглинка и глины;
- проанализировать существующие схемы загрузки суглинка и глины в ГП КС;
- разработать модели горного оборудования и произвести имитационное моделирование МДЭ [6, 8, 9];
- оценить влияние процесса погрузки суглинка и глины в ГП на коэффициент использования грузоподъемности КС.

Данные исследования применялись в ходе выполнения работ по проекту «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» на этапе эскизного проекта, в части разработки математических моделей и проведения имитационного моделирования режимов эксплуатации ГП КС.

### **Параметры горного оборудования и схемы загрузки суглинка и глины в ГП КС БелАЗ 7530**

Анализ экскаваторно-автомобильных комплексов Кемеровской области показал, что угольные разрезы принимают различные схемы работ в зависимости от имеющегося парка горной техники и необходимой эффективности горного производства [10-29]. Для исследований выбраны следующие схемы работ:

- экскаватор с обратной гидравлической лопатой Komatsu PC 2000 и КС БелАЗ 7530;
- экскаватор с прямой механической лопатой ЭКГ-35 и КС БелАЗ 7530.

Экскаватор Komatsu PC 2000 оснащается универсальным ковшом объемом с «шапкой» по SAE 2:1 – 12 м<sup>3</sup>, а ЭКГ-35 – 38 м<sup>3</sup>. Выбор данных экскаваторов обусловлен технологией горных работ угольных разрезов [7, 11, 14-21].

КС БелАЗ 7530 могут оснащаться ГП шестью различных объемов: геометрический – 80,0; 89,5; 92,0; 100,0; 103,0; 117,0 м<sup>3</sup>; с «шапкой» 2:1 – соответственно 112; 131; 130; 138; 141; 147 м<sup>3</sup>. Для исследований выбрана ГП КС БелАЗ 7530 без надставных бортов с геометрическим объемом 100,0 м<sup>3</sup> и с «шапкой» 2:1 – 138 м<sup>3</sup>, так как такие модели ГП КС нашли широкое применение на угольных разрезах Кузбасса. В зависимости от параметров горной массы ГП комплектуются надставными бортами с целью обеспечения заявленной грузоподъемности КС.

Анализ существующих схем загрузки суглинка и глины в ГП КС показал, что на разрезах Кузбасса применяют определенные варианты схем загрузки горной массы в зависимости от объема ковша экскаватора и грузоподъемности КС. Выбранные схемы загрузки суглинка и глины экскаваторами Komatsu PC 2000 (Рис. 1 а и b, Рис. 2 а) и ЭКГ-35 (Рис. 1 а и с; Рис. 2 b) в ГП КС БелАЗ 7530 представлены на Рис. 1., где цифрами на Рис. 1 b и с показана последовательность погрузки суглинка и глины ковшами в ГП КС.

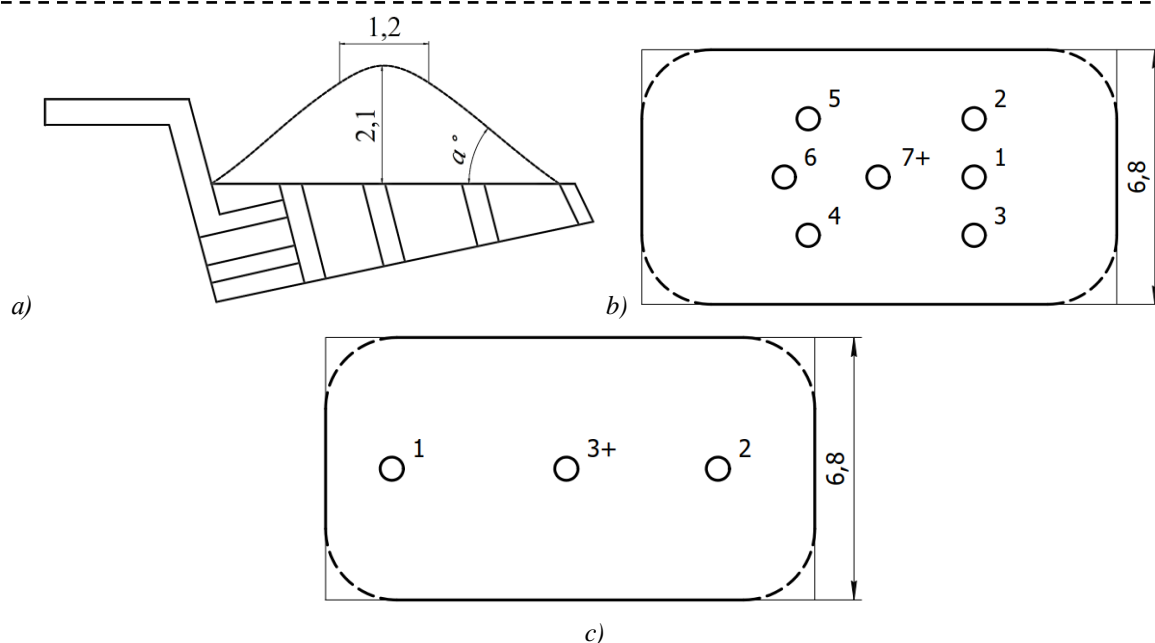


Рис. 1. Схема загрузки суглинка и глины в грузовую платформу карьерного самосвала БелАЗ 7530:

а) главный вид; б) для ковшей объемом  $< 20 \text{ м}^3$  (PC 2000); в) для ковшей объемом  $> 20 \text{ м}^3$  (ЭКГ-35)

Fig. 1. Scheme of loading loam and clay into the dump body of the BelAZ 7530 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  $> 20 \text{ m}^3$  (ECG-35)

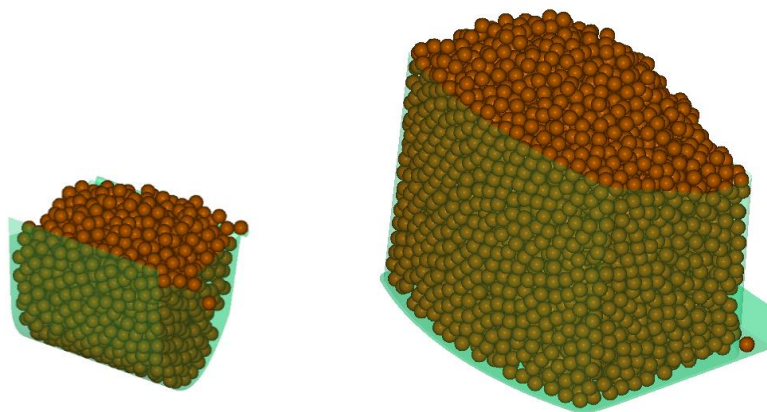


Рис. 2. Общий вид модели ковша с суглинком и глиной:

а) PC 2000; б) ЭКГ-35.

Fig. 2. General view of the loam and clay bucket model:

а) PC 2000; б) ECG-35.

### Имитационное моделирование МДЭ процесса погрузки суглинка и глины в ГП КС

Для имитационного моделирования процесса погрузки суглинок и глины в ГП КС разработаны:

- модели ковшей экскаваторов Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35, общий вид моделей ковшей с суглинком и глиной представлены на Рис. 2.;
- модель ГП КС БелАЗ 7530 (Рис. 3, Рис. 4) без надставных бортов.

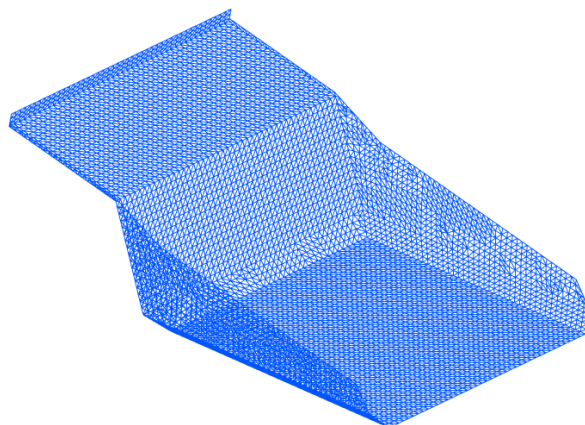
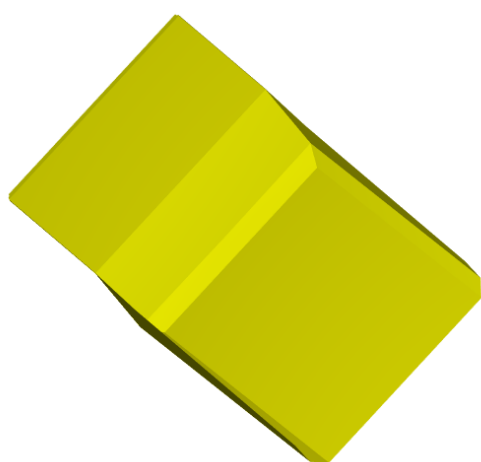


Рис. 3. Общий вид модели грузовой платформы карьерного самосвала БелАЗ 7530  
Fig. 3. General view of the dump body model of the BelAZ 7530 dump truck



a)



b)

Рис. 4. Сравнение разработанной модели (a) и существующей (b) грузовой платформы карьерного самосвала БелАЗ 7530

Fig. 4. Comparison of the developed model (a) and the existing (b) dump body of the BelAZ 7530 dump truck

Анализ геометрий разработанной модели и существующей ГП КС БелАЗ 7530 для имитационного моделирования МДЭ, Рис. 4., показал высокую валидацию.

Модели ковшей и ГП КС БелАЗ 7530 для имитационного моделирования МДЭ были упрощены, так как в процессе моделирования учитываются только те поверхности, которые непосредственно контактируют с сыпучим материалом.

Параметры модели суглинка и глины приняты одного размера, насыпная плотность суглинка и глины ( $p_n$ , т/м<sup>3</sup>) для имитационного моделирования МДЭ выбрана двух значений  $min$  (1,36 т/м<sup>3</sup>) и  $max$  (1,51 т/м<sup>3</sup>) [29-32], так как объемный вес суглинка и глины в целике может варьироваться из-за различных коэффициентов разрыхления материала.

С целью приближения к реальным условиям эксплуатации ГП КС, гранулометрический состав суглинка и глины был смоделирован в виде сфер (Рис. 5) с количеством полигонов, равным 15, и принят 0,2 мм.

В программное обеспечение Rocky DEM:

- вводились параметры модели суглинка и глины;
- экспортировались модели ковшей и ГП КС БелАЗ 7530;
- указывались места погрузки, высота высыпания и время процесса загрузки суглинка и глины в ГП КС для ковшей различных моделей на основании схемы загрузки сыпучего материала в ГП КС БелАЗ 7530 (Рис. 1).

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

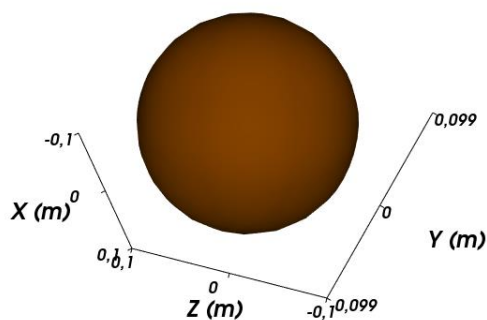


Рис. 5. Геометрия частицы  
Fig. 5. Particle geometry

Для упрощения процесса моделирования суглинок и глина помещались в ковш без черпания на тот объем, который характерен для черпания суглинка и глины для каждого из ковшей, согласно SAE 2:1 [7]. Далее ковш опрокидывался и / или высыпался в ГП КС БелАЗ 7530.

Разработанная имитационная модель процесса загрузки горной массы в ГП КС подвергалась расчетам МДЭ [6, 9].

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 7530 в зависимости от количества ковшей и *min* насыпной плотности

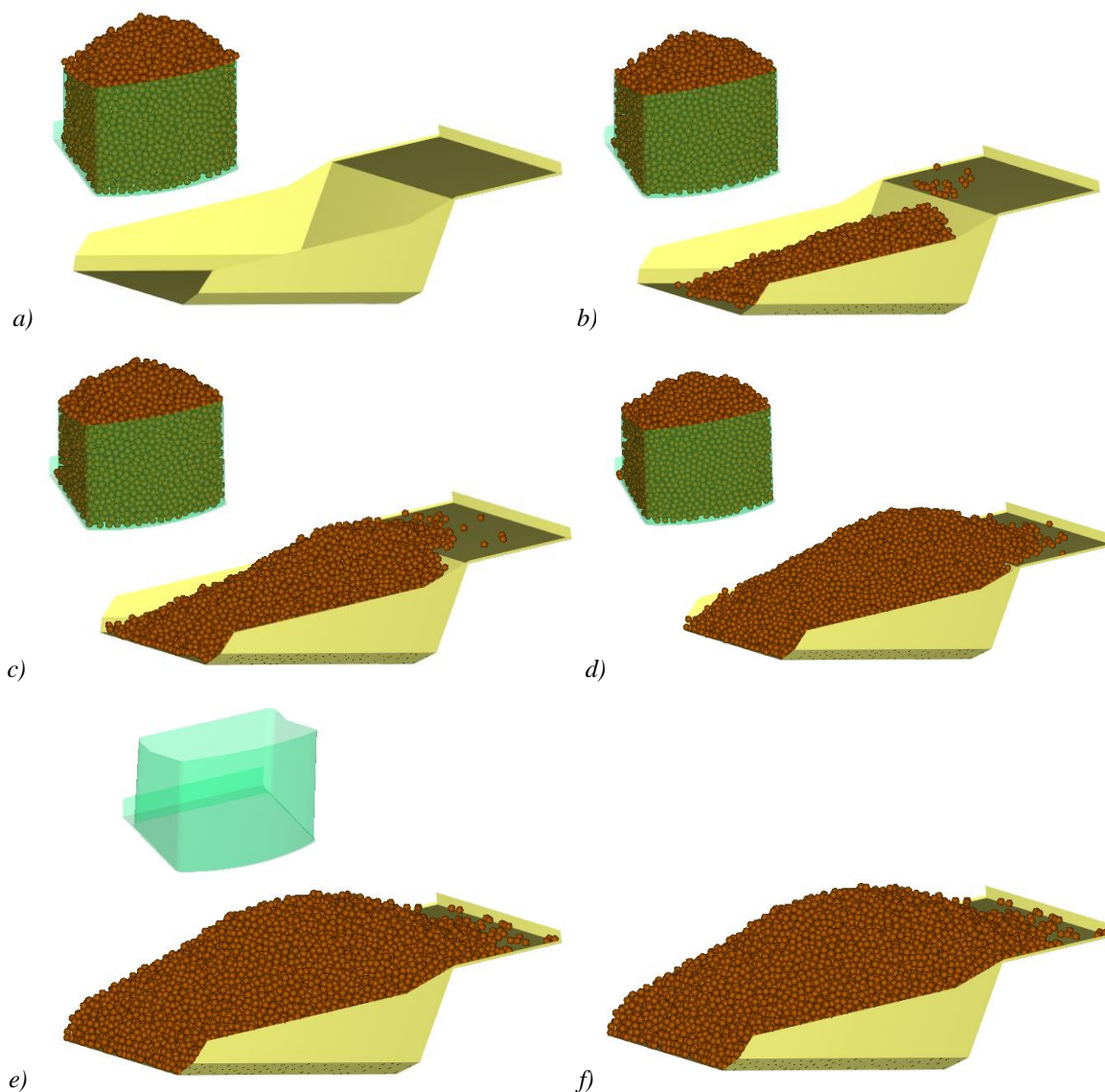
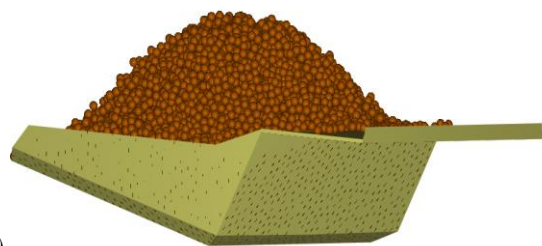


Рис. 6. Кинограмма с анимацией моделирования при погрузке грузовых платформ карьерного самосвала БелАЗ 7530

Fig. 6. Kinogram with animation of simulation during loading of dump body of the BelAZ 7530 dump truck



а)   
 Рис. 7. Сравнение полученной геометрии шапки модели (а) и фактической (б) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530

Fig. 7. Comparison of the obtained geometry of the model cap (a) and the actual one (b) in the dump body of the BelAZ 7530 dump truck

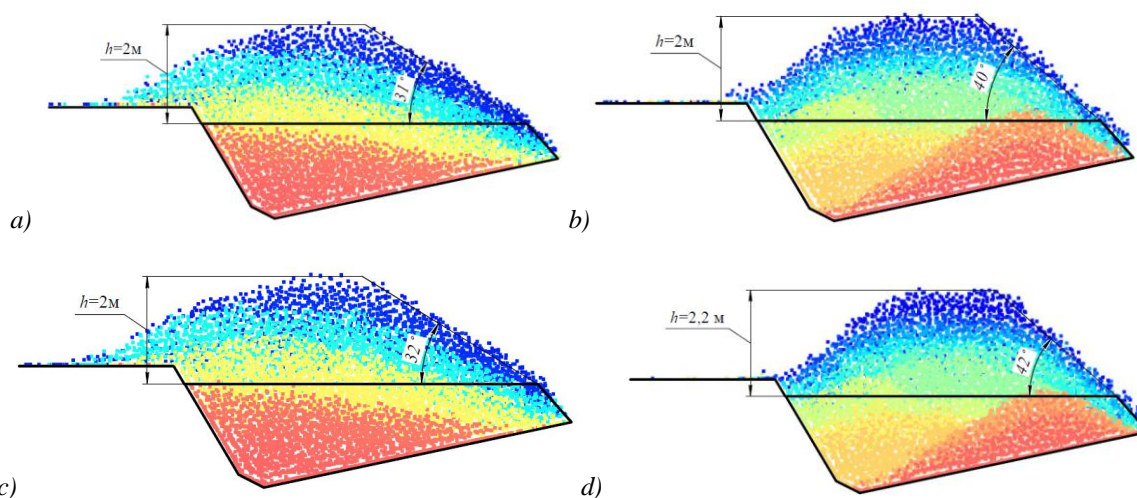


Рис. 8. Геометрия шапок и распределение суглинка и глины в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530:

Fig. 8. The geometry of the caps and the distribution of loam and clay in the dump body of the BelAZ 7530 dump truck:

- а) РС 2000,  $p_n = 1,36 \text{ т/м}^3$ ; б) РС 2000,  $p_n = 1,51 \text{ т/м}^3$ ;  
 в) ЭКГ-35,  $p_n = 1,36 \text{ т/м}^3$ ; г) ЭКГ-35,  $p_n = 1,51 \text{ т/м}^3$ .

суглинка и глины ( $p_n = 1,36 \text{ т/м}^3$ ) представлена на Рис. 6, где на Рис. 6 а показана пустая ГП и первый ковш с суглинком и глиной, на Рис. 6 б показана ГП с суглинком и глиной от первого ковша и второй ковш с суглинком и т.д. На Рис. 6 в приведена заполненная суглинком и глиной ГП КС БелАЗ 7530.

#### Результаты моделирования процесса погрузки суглинка и глины в ГП КС

По результатам моделирования получены заполненные суглинком и глиной ГП КС БелАЗ 7530 и значения массы груза в ГП КС ( $P_r$ , т).

Для сравнения геометрии шапок моделей суглинка с глины и фактической в ГП КС БелАЗ 7530 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 7530 с насыпной плотностью суглинка и глины  $p_n = 1,51 \text{ т/м}^3$ .

Анализ Рис. 7. показал высокую валидацию полученной геометрии шапки модели и фактической в ГП КС БелАЗ 7530.

Рассмотрим геометрию шапки (Рис. 1 а) согласно схеме загрузки суглинка и глины экскаваторами Komatsu PC 2000 и ЭКГ-35 в ГП КС БелАЗ 7530 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 в).

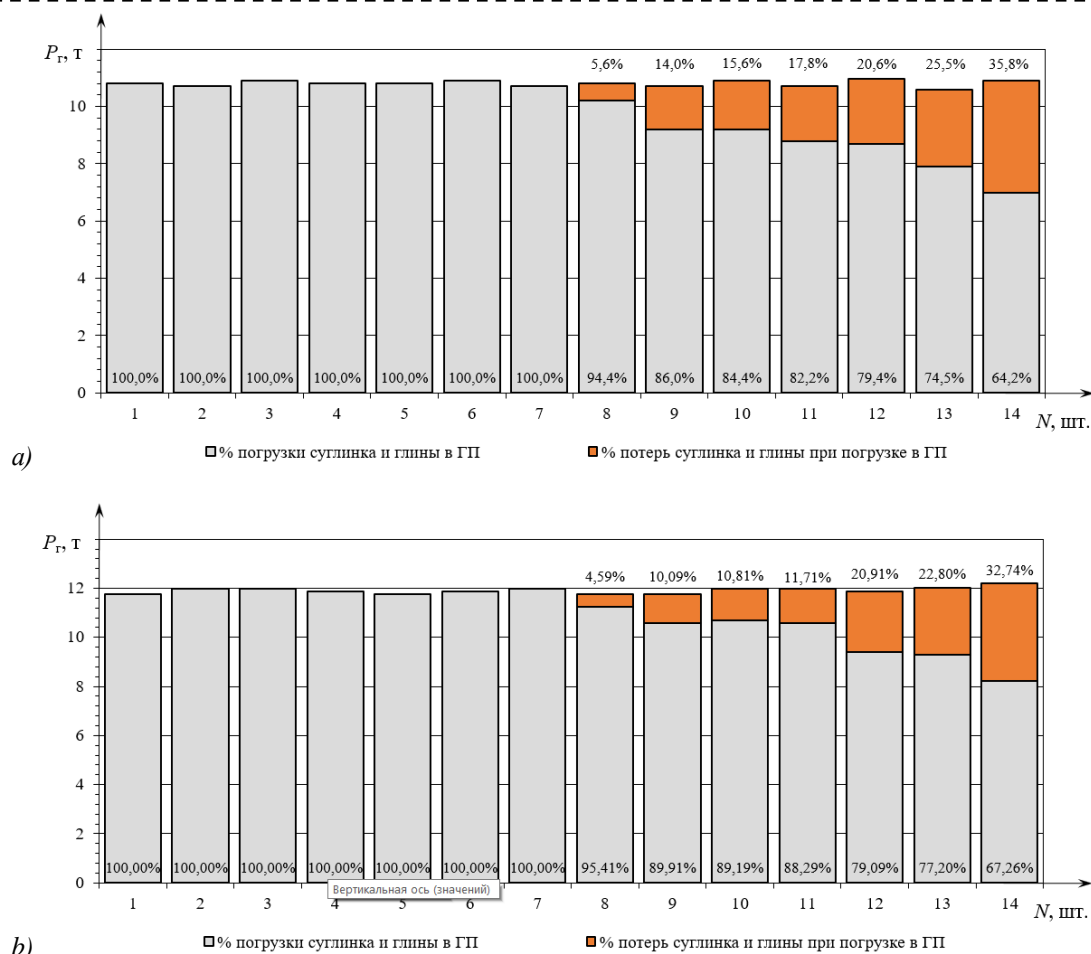


Рис. 9. Зависимость массы груза ( $P_r, t$ ) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530 от количества ковшей ( $N, шт.$ ) при погрузке экскаватором ЭКГ-35.  
Fig. 9. The dependence of the weight of the cargo ( $P_r, t$ ) in the dump body of the BelAZ 7530 dump truck on the number of buckets ( $N, pcs.$ ) when loading with the ECG-35 excavator.  
a)  $p_n = 1,36 \text{ m/m}^3$ ; b)  $p_n = 1,51 \text{ m/m}^3$ .

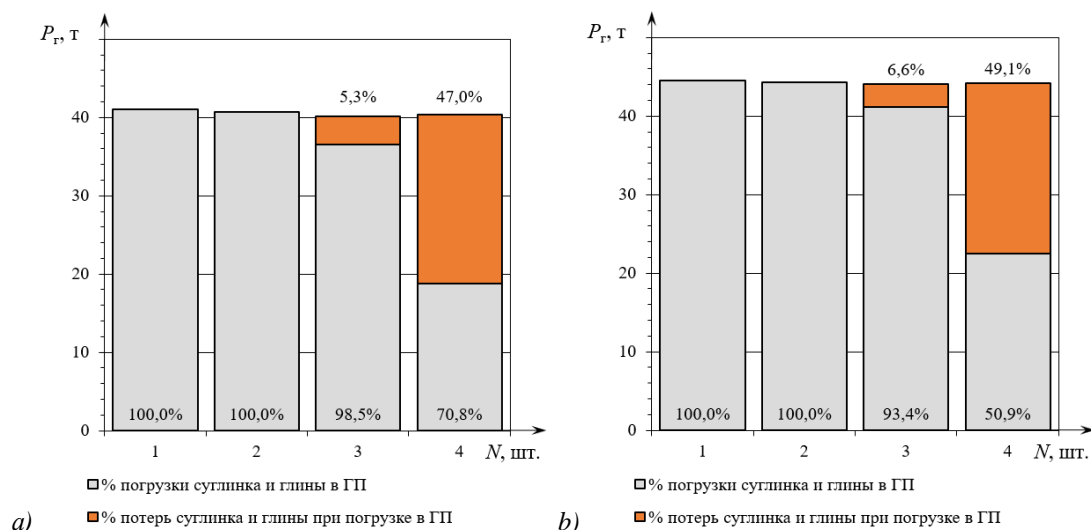


Рис. 10. Зависимость массы груза ( $P_r, t$ ) в грузовой платформе карьерного самосвала БелАЗ 7530 от количества ковшей ( $N, шт.$ ) при погрузке экскаватором ЭКГ-35.  
Fig. 10. The dependence of the weight of the cargo ( $P_r, t$ ) in the cargo platform of the BelAZ 7530 dump truck on the number of buckets ( $N, pcs.$ ) when loading with the ECG-35 excavator.  
a)  $p_n = 1,36 \text{ m/m}^3$ ; b)  $p_n = 1,51 \text{ m/m}^3$ .

Таблица 1. Параметры процесса погрузки суглинка и глины в грузовую платформу  
Table 1. Parameters of the loam and clay loading process into the cargo platform

Table 1. Parameters of the loam and clay loading process into the cargo platform				
Параметр	Значения			
Модель экскаватора:	РС 2000		ЭКГ-35	
объем ковша с «шапкой» по SAE 2:1 – м³	12		38	
Грузоподъемность КС БелАЗ 7530 – Рн, т	220			
Объем ГП с «шапкой» 2:1 – VГП, м3	138			
Насыпная плотность – рн , т/м3	1,36	1,51	1,36	1,51
Масса груза в ГП КС – Рг, т	136,6	153,3	137,0	152,5
Коэффициент использования грузоподъемности – КР	0,62	0,70	0,62	0,69

Анализ полученных геометрических параметров шапок и распределение суглинка и глины в ГП КС БелАЗ 7530 (Рис. 8) показал, что:

- параметры шапок отличаются из-за особенностей погрузки разными экскаваторами согласно схеме загрузки (Рис. 1);
- полученная в результате последовательной загрузки суглинка и глины ковшом экскаватора РС 2000 геометрия шапки (Рис. 8 б) соответствует фактической (Рис. 7).
- измеренные значения геометрических параметров шапки суглинка и глины в имитационных моделях (Рис. 8 d) больше, чем в схеме загрузки  $h = 2,1$  м (Рис. 1 а). Эта разница в геометрических параметрах объясняется процессом погрузки суглинка и глины в ГП и зависит от количества ковшей, высоты высыпания и объемного веса суглинка и глины в ковше экскаватора, которые определяют динамику движения дискретных элементов и соответственно формируют геометрию шапки сыпучего материала.

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.

Анализ зависимостей массы груза в ГП КС БелАЗ 7530 от количества ковшей (Рис. 9 и Рис. 10) показал, что:

- при погрузке экскаватором РС 2000 с 8 ковша сыпучий материал начинает высыпаться из ГП независимо от насыпной плотности;
- при погрузке экскаватором ЭКГ-35 в ГП потери материала происходят начиная с 3 ковша;
- насыпная плотность влияет на массу суглинка и глины в ГП;
- потери массы суглинка и глины в ГП больше у насыпной плотности с меньшим значением  $1,36$  т/м<sup>3</sup> и при погрузке экскаватором ЭКГ-35.

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

Анализ зависимостей массы груза в ГП КС БелАЗ 7530 от количества ковшей при погрузке суглинка и глины экскаваторами Komatsu РС 2000 и ЭКГ-35 (Рис. 9, Рис. 10) и параметров процесса погрузки суглинка и глины в ГП (Таблица 1) показал, что:

- коэффициент использования грузоподъемности при погрузке угля экскаватором Komatsu РС 2000 варьируется в диапазоне от 0,62 до 0,70, а ЭКГ 35 от 0,62 до 0,69 в зависимости от насыпной плотности и объема ковша экскаватора;
- загрузка суглинка и глины ковшом экскаватора РС 2000 является предпочтительней по коэффициенту использования грузоподъемности, чем ЭКГ 35, однако уменьшение объема ковша увеличивает время погрузки и снижает производительность открытых горных работ;
- рассматриваемая ГП КС БелАЗ 7530 без надставных бортов и со средним геометрическим объемом не вполне удовлетворяет требованиям при погрузке суглинка и глины по достижению необходимого коэффициента использования грузоподъемности в пределах от 0,75 до 0,90, однако увеличение геометрического объема и установка надставных бортов на ГП позволит повысить коэффициент использования грузоподъемности.

Таким образом, в работе произведено имитационное моделирование МДЭ процесса загрузки суглинка и глины в ГП КС, получены значения массы суглинка и глины в ГП КС, выявлены зависимости массы груза в ГП КС БелАЗ 7530 от количества ковшей при погрузке

экскаваторами РС 2000 и ЭКГ-35, оценен коэффициент использования грузоподъемности в зависимости от типа ковшей для различной насыпной плотности материала.

#### **Заключение**

В работе:

– Проанализированы параметры горного оборудования и схемы загрузки суглинка и глины в ГП КС.

– Разработаны модели горного оборудования и имитационная модель МДЭ процесса загрузки суглинка и глины в ГП КС, которую возможно изменять и использовать для других расчетных случаев.

– Определены параметры процесса погрузки суглинка и глины, необходимые для оценки коэффициента использования грузоподъемности для различных случаев.

– Выявлено влияние процесса погрузки суглинка и глины в ГП на коэффициент использования грузоподъемности КС.

– Установлено, что коэффициент использования грузоподъемности КС можно повысить путем уменьшения объема ковша экскаватора, повышением насыпной плотности и разработкой новых ГП КС с учетом процесса погрузки суглинка и глины.

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

#### **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 имени Т. Ф. Горбачева, 2021. С. 324–332.

6. 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.

7. 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.

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. Анистратов К. Ю., Градусов М. С., Стремилов В. Я., Тетерин М. В. Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных автосамосвалов в течение срока их эксплуатации // Горная промышленность. 2006. №6. С. 30–34.

11. Шестаков И. Г., Косых С. В. Использование гидравлических экскаваторов типа «обратная лопата» в сложных горно-геологических условиях // Вологдинские чтения. 2012. №80. С. 168–170.

12. Сандригайло И. Н., Арефьев С. А., Мойсиев Х. С., Глебов И. А., Шлохин Д. А. Анализ

эффективности применения шарнирно-сочлененных автосамосвалов при разработке месторождений с малыми запасами // Известия УГГУ. 2015. № 2. С. 23–27.

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

14. Холодняков Г. А., Логинов Е. В., Туан В. Д. Малоотходная открытая разработка полезных ископаемых с помощью гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. №1. С. 357–363.

15. 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.org/10.26730/2618-7434-2019-1-35-49.

16. 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.

17. Милький С. М. Оценка технологий отработки крутонаклонных угольных месторождений Кузбасса // Техника и технология горного дела. 2020. №1(8). С. 45–73. doi.org/10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.

18. 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.

19. Katsubin A., Markov S., Khoreshok A., Tyulenev M. E3S Web of Conferences, 174, 01027 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202017401027.

20. 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.

21. 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.

22. 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. 7184.

23. 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. Article no. 02029. doi.org/10.1051/e3sconf/201910502029.

24. 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.

25. 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.

26. 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.

27. 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 multibench retained excavations. // Acta Geotechnica. 2020. 15(9). 2691. DOI:10.1007/s11440-020-00947-3.

28. 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. DOI:10.4271/2009-01-0565.

29. Кутепов Ю. И., Кутепова Н. А., Васильева А. Д., Мухина А. С. Инженерно-геологические и экологические проблемы при эксплуатации и рекультивации высоких отвалов на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 8. С. 164–178. DOI 10.25018/0236\_1493\_2021\_8\_0\_164. EDN ZDLAZZ.

30. Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 1. Под ред. Анистратова К. Ю. М. : ООО «Система максимум», 2019. 640 с.: ил.

31. Анистратов Ю. И., Анистратов К. Ю. [и др.] Открытые горные работы – XXI век. Справочник. Том 2. Под ред. Анистратова К. Ю. М. : ООО «Система максимум», 2019. 872 с.: ил.

32. Ольховатенко В. Е., Трофимова Г. И. Характеристика физико-механических свойств горных пород Ерунаковского Южного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №12. С. 95–105.

© 2023 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0

Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Дубинкин Дмитрий Михайлович** – кандидат технических наук, доцент, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; ORCID 0000-0002-8193-9794, Scopus ID 57197717432; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

**Исмаилова Шахназ Ямиловна** – младший научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии», аспирант КузГТУ, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева; e-mail: ismailovashja@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Дубинкин Дмитрий Михайлович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных, обзор актуальной литературы.

Исмаилова Шахназ Ямиловна – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных, подведение итогов, написание текста, обзор актуальной литературы, сбор данных, обзор актуальной литературы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

### THE EFFECT OF THE LOAM AND CLAY LOADING PROCESS ON THE LOADING PLATFORM ON THE UTILIZATION FACTOR OF THE 220 TON MINING DUMP TRUCK

**Dmitry M. Dubinkin,  
Shakhnaz Ya. Ismailova**

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

\*for correspondence: ddm.tm@kuzstu.ru



#### Article info

Received:

25 November 2023

Accepted for publication:

10 December 2023

Accepted:

12 December 2023

Published:

21 December 2023

**Keywords:** mining, open-pit mining, load capacity utilization factor, mining dump truck, dump body, DEM, clay, loam.

#### Abstract.

Determining the utilization factor of a mining dump truck, taking into account the characteristics of the rock mass and loading, is one of the urgent tasks of modern mining production. The purpose of this study is to study the effect of the process of loading loam and clay into a dump body on the utilization factor of a 220-ton mining dump truck. The parameters of mining equipment and the scheme of loading loam and clay into the dump body of a 220-ton dump truck are analyzed. Models of mining equipment and a simulation model of the process of loading loam and clay into the cargo platform of a dump truck have been developed. Simulation modeling by the method of discrete elements of the process of loading loam and clay into the cargo platform of a dump truck was carried out and the values of the weight of the cargo were obtained both by a single bucket and in the cargo platform as a whole. The validation of the obtained results of simulation modeling of the loam and clay loading process was carried out by comparing the obtained models and the actual geometry of the loam-clay cap in the cargo platform of the Belaz 7530 dump truck. The dependences of the weight of the cargo in the cargo platform of the Belaz 7530 dump truck on the number of buckets when loading with Komatsu PC 2000 and EKG-35 excavators are presented. The influence of the loam and clay loading process in the GP on the utilization factor of the dump truck load capacity has been revealed.

**For citation:** Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya. The effect of the loam and clay loading process on the loading platform on the utilization factor of the 220 ton mining dump truck. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo*

tekhnicheskogo universiteta=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 6(160):105-118. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-105-118, EDN: QNSOJS

### Acknowledgments

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation under Agreement № 075-15-2022-1198 dated 30.09.2022 with the T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University on complex scientific and technical program of full innovation cycle «Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of solid minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life» (the «Clean Coal – Green Kuzbass» Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle) as part of implementing the project «Development and creation of an unmanned shuttle-type mining dump truck with a payload of 220 tons» in terms of research, development and experimental-design work.

### REFERENCES

1. Khoreshok A.A., Stenina N.A., Kudrevatykh A.V., Ascheulov A.S. Methodology for determining the rational coefficient of utilization of the lifting capacity of quarry dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2020; 1(147):3–9. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-1-3-9.
2. Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya. Analysis of technical characteristics of quarry dump trucks with a load capacity from 218 tons to 255 tons. *Natural and intellectual resources of Siberia. Sibresurs 2022 : Collection of materials of the XIX International Scientific and Practical Conference, November 23-24, 2022*. Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2022. Pp. 4061–4066.
3. Ismailova Sh.Ya. Specific volumetric load capacity of quarry dump trucks. *Innovations in information technologies, mechanical engineering and motor transport : Collection of materials of the VI International Scientific and Practical Conference, November 30 – 01 2022*. Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2022. Pp. 635–640.
4. Voronov A.Yu., Khoreshok A.A., Voronov Yu.E., Dubinkin D.M., Voronov A.Yu. Optimization of parameters of excavator-automobile complexes of sections. *Mining industry*. 2022; 5:92–98. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-5-92-98.
5. Aksenov V.V., Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya., Yalyshev A.V. Review of the structures of rock platforms of quarry dump trucks. *Innovations in information technologies, mechanical engineering and motor transport : Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference, October 19-20, 2021*. Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2021. Pp. 324–332.
6. Dubinkin D.M. Methodology for determining the loads acting during loading and unloading of the cargo platform (body) of a quarry dump truck. *Mining equipment and electromechanics*. 2022; 3(161):31–49. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-31-49.
7. Khoreshok A.A., Danilov S.N., Dubinkin D.M., Markov S.O., Tyulenev M.A. Some features of mining inclined coal seams with reverse hydraulic shovels in combination with dump trucks with a lifting capacity of 220 tons. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023; 22:91–99. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-22-91-99.
8. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Determination of static loads on board the cargo platform of a quarry dump truck. *Mining industry*. 2022; 6:137–144. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
9. Dubinkin D.M. Fundamentals of digital creation of autonomous mining dump trucks. *Mining equipment and electromechanics*. 2022; 2(160):39–50. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-39-50.
10. Anistratov K.Yu., Degrees M.S., Stremilov V.Ya., Teterin M.V. Investigation of patterns of changes in performance indicators of dump trucks during their service life. *Mining industry*. 2006; 6:30–34.
11. Shestakov I.G., Kosykh S.V. The use of hydraulic excavators of the "reverse shovel" type in difficult mining and geological conditions. *Vologda readings*. 2012; 80:168–170.
12. Sandrigailo I.N., Arefyev S.A., Moisiey H.S., Glebov I.A., Shlokhin D.A. Analysis of the effectiveness of the use of articulated dump trucks in the development of deposits with small reserves. *Izvestiya UGSU*. 2015; 2:23–27.
13. Zyryanov I.V., Lel Yu.I., Ilbuldin D.H., Martynov N.V., Ganiev R.S. Productivity of the dredging and loading equipment. *News of higher educational institutions. Mining journal*. 2016; 8:11–20.
14. Kholodnyakov G.A., Loginov E.V., Tuan V.D. Low-waste open-pit mining of minerals using hydraulic excavators. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 1:357–363.
15. Tyuleneva E.A., Lesin Yu.V., Litvin Ya.O. Investigation of the technology of mining coal-saturated zones in Kuzbass sections with simple and complex faces. *Technique and technology of mining*. 2019; 1(4):35–49. doi.org/10.26730/2618-7434-2019-1-35-49.
16. Katsubin A.V., Fedotov A.A. Systematization of mining and geological conditions of coal-saturated and coal-free zones of Kuzbass sections. *Mining engineering and technology*. 2019; 3(6):60–75. DOI: 10.26730/2618-7434-2019-3-60-75.
17. Miliy S.M. Evaluation of technologies for mining steep-slope coal deposits in Kuzbass. *Mining engineering and*

technology. 2020;1(8):45–73. doi.org/10.26730/2618-7434-2020-1-45-73.

18. Khoreshok A.A., Katsubin A.V., Dubinkin D.M., Koshelev A.V., Fedotov A.A. Substantiation of parameters of excavation and loading equipment for advanced excavation of coal seams in sections. *Ugol*. 2022; S12(1162):82–87. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-82-87.

19. Katsubin A., Markov S., Khoreshok A., Tyulenev M. E3S Web of Conferences, 174, 01027 (2020). DOI: 10.1051/e3sconf/202017401027.

20. Litvin O.I., Litvin Ya.O., Tyulenev M.A., Markov S.O. On determining the parameters of downhole blocks during mining operations with reverse hydraulic shovels. *Mining industry*. 2021; 6:76–81. doi.org/10.30686/1609-9192-2021-6-76-81.

21. Loginov E.V., Tyuleneva T.A. Management of quarry parameters in order to increase the efficiency of using hydraulic excavators of the reverse shovel type. *Coal*. 2021; 12(1149):6–10. doi.org/10.18796/0041-5790-2021-12-6-10.

22. Loginov E.V., Wolf V.V. Investigation of the parameters of technological schemes for the development of deposits of sand and gravel mixtures with reverse hydraulic shovels. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2022; 8:71–84.

23. 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. doi.org/10.1051/e3sconf/201910502029.

24. 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; 134:01019. doi.org/10.1051/e3sconf/201913401019.

25. 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.

26. 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.

27. 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 multibench retained excavations. *Acta Geotechnica*. 2020; 15(9):2691. DOI:10.1007/s11440-020-00947-3.

28. 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. DOI:10.4271/2009-01-0565.

29. Kutepov Yu.I., Kutepova N.A., Vasilyeva A.D., Mukhina A.S. Engineering-geological and environmental problems in the operation and reclamation of high dumps in the Kuzbass sections. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2021; 8:164–178. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_8\_0\_164. EDN ZDLAZZ.

30. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. [et al.] Open-pit mining – XXI century. Guide. Volume 1. Ed. Anistratov K.Yu. M.: OOO "System maximum"; 2019. 640 p.: ill.

31. Anistratov Yu.I., Anistratov K.Yu. [et al.] Open-pit mining – XXI century. Guide. Volume 2. Ed. Anistratov K.Yu. M.: OOO "System maximum"; 2019. 872 p.: ill.

32. Olkhovatenko V.E., Trofimova G.I. Characteristics of the physical and mechanical properties of rocks of the Yerunakovsky Southern deposit. *Mining Information and Analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2013; (12):95–105.

© 2023 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

#### About the authors:

**Dmitry M. Dubinkin** – C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; ORCID 0000-0002-8193-9794, Scopus ID 57197717432; e-mail: ddm.tm@kuzstu.ru

**Shakhnaz Ya. Ismailova** – Junior Researcher, Research Center «Digital Technologies», graduate student of KuzSTU, Kemerovo, Russian Federation, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; e-mail: ismailovashja@kuzstu.ru

#### Contribution of the authors:

Dmitry M. Dubinkin – setting up a research task, conceptualizing research, analyzing data, drawing conclusions, writing a text, review of relevant literature, data collection, review of relevant literature.

Shakhnaz Ya. Ismailova – setting up a research task, conceptualizing research, analyzing data, drawing

conclusions, writing a text, review of relevant literature, data collection, review of relevant literature.

*All authors have read and approved the final manuscript.*

