

## Научная статья

УДК 622.271

DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-94-104

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ СУГЛИНКА И ГЛИНЫ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОГРУЗКИ И РАЗГРУЗКИ ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМЫ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА**

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:**

открытые горные работы,  
карьерный самосвал, грузовая  
платформа, МДЭ, глина,  
суглинок

**Аннотация.**

Обоснование конструктивных параметров грузовой платформы карьерного самосвала зависит от различных факторов, среди которых является перевозимая горная масса. Целью данного исследования является определение параметров модели сыпучего материала суглинка и глины для имитационного моделирования процессов погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала 220 тонн методом дискретных элементов. Проведен анализ параметров модели суглинок и глины как сыпучей среды для имитационного моделирования методом дискретных элементов. Представлены результаты исследования по определению параметров модели суглинка и глины в зависимости от сопротивления качению и насыпной плотности. Проведена валидация полученных результатов имитационного моделирования суглинка и глины путем сравнения угла откоса полученных моделей и реальной геометрией суглинисто-глинистой шапки.

**Для цитирования:** Дубинкин Д.М., Исмаилова Ш.Я. Определение параметров модели суглинка и глины для имитационного моделирования погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2023. № 6 (160). С. 94-104. DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-94-104, EDN: JWQMCQ

**Введение**

Экономические обстоятельства и развитие технологий способствуют совершенствованию процессов добычи полезных ископаемых [1, 2]. Исследования экскаваторно-автомобильного комплекса методом имитационного моделирования позволяют подбирать наилучшие решения выбора и создания новых горных машин [3].

Одним из основных узлов карьерного самосвала (КС) является грузовая платформа (ГП) [4-9]. Основными характеристиками ГП в зависимости от перевозимого сыпучего материала являются: грузоподъемность, т; геометрическая емкость, м<sup>3</sup>; объем SAE 2:1, м<sup>3</sup>. Обоснование конструктивных параметров ГП (массы, габаритных и прочностных размеров несущих элементов конструкции, геометрии и материала ГП) формирует основные характеристики ГП.

Поэтому определение параметров модели суглинка и глины как сыпучего материала является актуальной задачей для создания новых ГП КС.

Целью исследования является определение параметров модели суглинок и глины как сыпучего материала для дальнейших исследований процессов погрузки и разгрузки грузовой платформы карьерного самосвала грузоподъемностью 220 тонн методом дискретных элементов.

### Основная часть.

#### Метод дискретных элементов.

Моделирование методом дискретных элементов (Discrete element method (DEM)) позволяет создавать имитационные модели, учитывающие особенности сыпучей среды и взаимодействие ее с конструкцией исследуемого объекта. Имитационное моделирование сыпучих материалов методом дискретных элементов (МДЭ) позволяет исследовать различные модели, которые могут учитывать множество параметров и факторов. МДЭ описан и применяется в горном деле, так как позволяет моделировать каждую отдельную частицу и их взаимодействие [9-11].

Адекватность имитационного моделирования МДЭ зависит от параметров модели суглинка и глины. Параметры модели суглинка и глины зависят от характеристик и гранулометрического состава сыпучего материала, коэффициентов, отражающих показатели взаимодействия частиц и поверхностей [9].

Для определения параметров модели суглинка и глины необходимо рассмотреть МДЭ для моделирования сыпучих сред; определить требуемые параметры для получения модели суглинка и глины; выбрать параметры модели суглинка и глины, соответствующие реальным условиям эксплуатации при погрузке суглинка и глины в ГП КС.

Для определения параметров суглинка и глины в программном обеспечении (ПО) Rocky DEM выбраны частицы в виде сфер, для которых характерно использование модели линейного пружинного контакта с линейными характеристиками адгезионных сил (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Выбранная модель взаимодействия дискретных частиц характеризуется следующими параметрами:

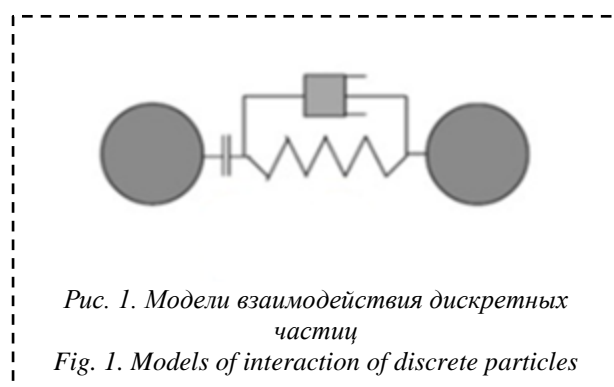


Рис. 1. Модели взаимодействия дискретных частиц

Fig. 1. Models of interaction of discrete particles

$\mu_{\text{покоя}}$  – коэффициент взаимодействия пар материалов в состоянии покоя;  
 $\mu_{\text{движения}}$  – коэффициент взаимодействия пар материалов в движении;  
 $K_{\text{COR}}$  – коэффициент восстановления (реституции), представляет собой отношение конечной относительной скорости к начальной после взаимодействия тел.

#### Параметры модели суглинка и глины

Горные породы характеризуются различными физико-механическими характеристиками: твердость, удельный вес, разрыхляемость, пористость, влажность, набухание, водонепроницаемость, угол естественного откоса и т.п. [12].

В основном, глина – это мелкозернистая осадочная горная порода, состоящая из смеси металлических и не металлических элементов. Суглинок – рыхлая осадочная порода с преимущественным содержанием частиц размера пыли и песка и значительным количеством глинистых частиц.

Глины по физико-механическим свойствам близки к суглинкам. Основные физико-механические характеристики суглинка и глины приведены в Таблице 1 [13].

Влажность – выражается в процентах по отношению к общей массе влажного материала и по отношению к массе высушенного материала.

Пористость – общий объем всех пустот в горной породе. Количественно пористость обычно выражают процентным отношением объема пустот к общему объему грунта.

Плотность – масса единицы объема твердой фазы горной породы.

Угол внутреннего трения – отношение вертикального или нормального напряжения к горизонтальному (касательному), выраженное в градусах.

Таблица 1. Физико-механические характеристики суглинка и глины [13]  
Table 1. Physico-mechanical characteristics of loam and clay [13]

Физико-механические свойства	Суглинистая зона			Глинистая зона		
	Подзоны пород по консистенции					
	текучие	мягко-пластич.	туго-пластич.	текучие	мягко-пластич.	туго-пластич.
Влажность $W$ , %	27,0÷40,0	24,5÷31,4	22,1÷26,3	37,0÷100,0	31,0÷38,0	28,0÷31,0
Пористость, %	44,0÷52,5	38,5÷46,6	40,0÷41,6	50,0÷71,0	44,5÷50,0	41,0÷44,0
Плотность $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	1,80÷1,92	1,90÷2,02	2,00÷2,02	1,61÷1,88	1,88÷1,96	1,96÷2,01
Угол внутреннего трения $\phi$ , град.	14÷23	19÷25	22	0÷6	8÷16	8÷16
Категория экскавации II÷III						



Рис. 2. Треугольник Ферре [14]  
Fig. 2. The Ferre Triangle

Экскавация – процесс отделения горной породы (грунта) от массива (развала или разрыхленного слоя) под воздействием рабочего органа экскаватора, бульдозера, скрепера, карьерного погрузчика.

Для имитационного моделирования методом дискретных элементов необходимо знать физико-механические свойства перевозимого сыпучего материала, к которым относятся:

- коэффициент покоя ( $\mu_{\text{покоя}}$ ) – отражает взаимодействие пар материалов в состоянии покоя;
- коэффициент движения ( $\mu_{\text{движения}}$ ) – отражает взаимодействие пар материалов в движении;
- коэффициент восстановления (реституции) ( $K_{\text{COR}}$ ) – представляет собой отношение конечной относительной скорости к начальной после взаимодействия тел;
- модуль Юнга (упругости) ( $E$ , МПа) – отражает способность твердого тела упруго деформироваться при приложении к нему силы;
- коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) – величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению;

- плотность моделируемой частицы ( $p$ , т/м<sup>3</sup>) – отношение массы тела к объему.
- удельный вес ( $p_y$ , т/м<sup>3</sup>) – величина, которая определяется как отношение веса горной массы к занимаемому объему с включением всех внутренних несовершенств, пор и трещин.
- насыпная плотность ( $p_n$ , т/м<sup>3</sup>) – величина насыпного веса, зависит от удельного веса горной массы и от показателя разрыхленной горной породы (гранулометрического состава, плотности укладки частиц или уплотнения в целике).

Расчет показателей физико-механических свойств пород является определением процентного содержания фракций глины, суглинка, пыли и др. с использованием треугольника Ферре, показанного на Рис. 2. [14].

При моделировании дискретной среды в зависимости от принятого удельного веса горной массы по результатам исследования необходимо оценивать значение получаемой насыпной плотности. Насыпная плотность ( $p_n$ , т/м<sup>3</sup>) рассчитывается по формуле:

$$p_n = \frac{p_y}{K_p}, \text{ т/м}^3 \quad (1)$$

Насыпная плотность ( $p_n$ , т/м<sup>3</sup>) и удельный вес ( $p_y$ , т/м<sup>3</sup>) связаны коэффициентом разрыхления ( $K_p$ ), который оценивается тем, во сколько раз изменяется объем горной массы при ее разрушении [12]. Чем выше пустотность, тем меньше насыпная масса. У глины и плотного суглинка коэффициент разрыхления составляет  $1,20 \div 1,35$ .

В результате вычислений по формуле 1 с учетом плотности, указанной в Таблице 1, получены значения насыпной плотности для суглинка  $p_n = 1,50 \div 1,68$  т/м<sup>3</sup> и для глины  $p_n = 1,34 \div 1,67$  т/м<sup>3</sup>.

В процессе экскавации и последующей загрузки показатель насыпной плотности будет определять количество загружаемых ковшей и геометрию шапки насыпного материала в ГП КС. В случае моделирования МДЭ на насыпную плотность влияет гранулометрический состав и форма частиц. Соответствие насыпной плотности может быть более значимым, чем соответствие удельного веса отдельно взятой частицы, например, если задачей является определение объема насыпи. Плотность, задаваемая в модели при моделировании отдельных частиц сферами, может отличаться от реальной в большую сторону для поддержания параметра насыпной плотности.

Существует ряд работ, в которых описаны методы и порядок определения параметров модели горной массы для МДЭ [14-16]. В Таблице 2 приведены основные параметры модели суглинок и глины МДЭ [13, 17-20].

Таблица 2. Параметры модели суглинка и глины  
Table 2. Loam and clay model parameters

Показатель (коэффициент)	Суглинок-глина / Сталь	Суглинок-глина / Суглинок-глина
Трения покоя – $\mu_{\text{покоя}}$	0,70	0,80
Трения движения – $\mu_{\text{движения}}$	0,60	0,70
Реституции – $K_{\text{COR}}$	0,30	0,30
Параметры частиц	Суглинок-глина	
Плотность моделируемой частицы – $p$ , т/м <sup>3</sup>	2,00	
Насыпная плотность – $p_n$ , т/м <sup>3</sup>	1,51	
Модуль Юнга – $E$ , МПа	2500	
Коэффициент Пуассона – $\nu$	0,35	

Параметры естественного угла откоса, угла внутреннего трения и т.п. получают по результатам имитационного моделирования и задаются косвенно, через параметры частиц и их взаимодействия. Поэтому существует ряд виртуальных экспериментов, которые помогают при валидации параметров и результатов исследований.

Геометрия шапки суглинка и глины в ГП КС оценивается статическим (естественным) углом откоса, который образуется сыпучей горной массой к горизонтальной плоскости. Данный показатель получают прямыми измерениями или фотограмметрическим методом (Рис.

3) [15-17]. Угол естественного откоса материала суглинка и глины по справочным источникам варьируется от  $25^\circ$  до  $40^\circ$  [21], чаще всего для исследований принимают табличный  $\alpha = 35^\circ$  [22].

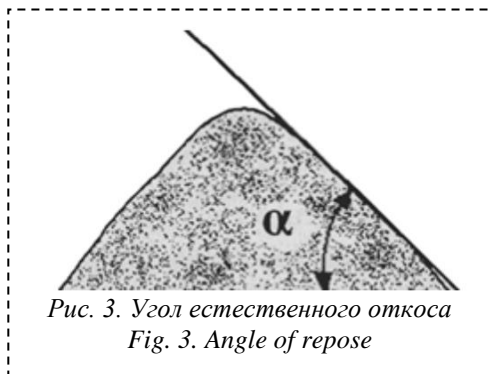


Рис. 3. Угол естественного откоса  
Fig. 3. Angle of repose

Для моделирования сыпучей среды важно выбрать геометрию частиц, поведение которых приближено к реальным условиям. МДЭ позволяет создавать различные частицы: сферы; составные частицы из совокупности сфер; полигональные; смешанные [9]. Наиболее распространенные – частицы-сферы, они наименее требовательны к вычислительным ресурсам [9, 17], что является важным критерием в случае моделирования частиц в ГП КС. Чтобы приблизить поведение частиц в виде сфер к поведению произвольных частиц в массиве, используют коэффициент сопротивления качению ( $\mu R$ ).

Коэффициент сопротивления качению ( $\mu R$ ) – отношение, определяющее силу, противодействующую движению, когда тело катится по поверхности.

#### Исследование модели суглинка и глины МДЭ

Для исследования модели суглинок и глины МДЭ применялся метод SAOR – Static Angle of Repose [11, 14, 18-20]. Метод SAOR позволял определять статический (естественный) угол откоса полученной геометрии шапки (насыпи) горной массы. Для этого вводились в ПО Rocky DEM параметры модели суглинок и глины, приведенные в таблице выше. Далее (Рис. 4) сыпучий материал помещался в полый цилиндр, который затем поднимался с постоянной скоростью на высоту до полного высыпания сыпучего материала. В результате формировалась геометрия шапки (насыпи) исследуемого сыпучего материала и определялся статический угол откоса.

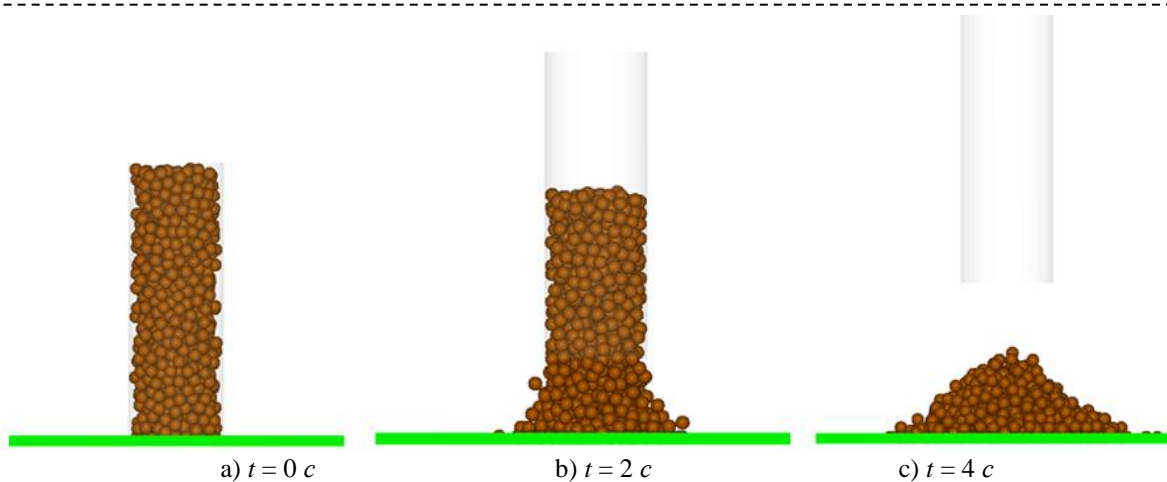


Рис. 4. Исследование модели суглинка и глины МДЭ методом SAOR  
Fig. 4. Research loam and clay model of the DEM by the SAOR method

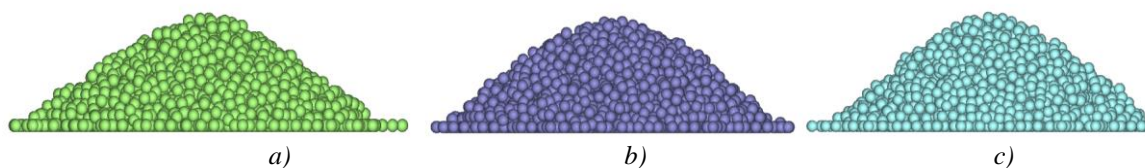


Рис. 5. Модели насыпей с различными коэффициентами сопротивления качению  
Fig. 5. Models of embankments with different rolling resistance coefficients  
a)  $\mu R = 0,25$ ; b)  $\mu R = 0,30$ ; c)  $\mu R = 0,35$

Таблица 3. Координаты расположений частиц в зависимости от высоты ( $h$ , м) и расстояния от центра шапки ( $l$ , м)  
 Table 3. Coordinates of particle locations depending on height ( $h$ , m) and distance from the center of the cap ( $l$ , m)

<i>max</i>		<i>min</i>		<i>avg</i>	
$l$ , м	$h$ , м	$l$ , м	$h$ , м	$l$ , м	$h$ , м
0	1,70	0	1,70	0	1,70
0,30	1,68	0,30	1,58	0,30	1,65
0,60	1,63	0,60	1,45	0,60	1,55
0,90	1,50	0,90	1,30	0,90	1,45
1,20	1,40	1,20	1,20	1,20	1,30
1,45	1,20	1,45	0,10	1,45	1,15
1,60	1,05	1,60	0,61	1,60	0,93
2,10	0,90	2,10	0,55	2,10	0,75
2,50	0,70	2,50	0,45	2,50	0,55
2,60	0,55	2,60	0,28	2,60	0,40
2,90	0,30	2,90	0,10	2,90	0,23

При моделировании геометрии суглинисто-глинистых шапок (Рис. 5) подбирался коэффициент сопротивления качению ( $\mu R$ ) и сравнивался с полученным значением статического угла откоса с эталонным.

Результаты значений координат (минимальные (*min*), максимальные (*max*) и средние (*avg*)) расположений частиц в зависимости от высоты ( $h$ , м) и расстояния от центра шапки ( $l$ , м) представлены в Таблице 3, для коэффициента сопротивления качению  $\mu R = 0,25$ . Такой расчет значений координат расположений частиц позволил построить геометрию шапок (насыпей)

горной массы для различных коэффициентов сопротивления качению (Рис. 6).

По полученным значениям средних координат частиц строилась линейная линия тренда и графическим способом определялся естественный угол откоса ( $\alpha$ , град.) модели суглинка и глины. Координаты расположений частиц в зависимости от высоты ( $h$ , м) и расстояния от центра шапки ( $l$ , м) изображены на Рис. 6.

Анализ Рис. 5 и Рис. 6 показывает, что:

– среди рассмотренных моделей суглинка и глины наиболее близкой к табличному естественному углу откоса [21, 22] является модель с  $\alpha = 36,3^\circ$  и коэффициентом сопротивления качения  $\mu R = 0,30$ .

– при повышении коэффициента сопротивления качения угол естественного откоса увеличивается.

#### **Заключение**

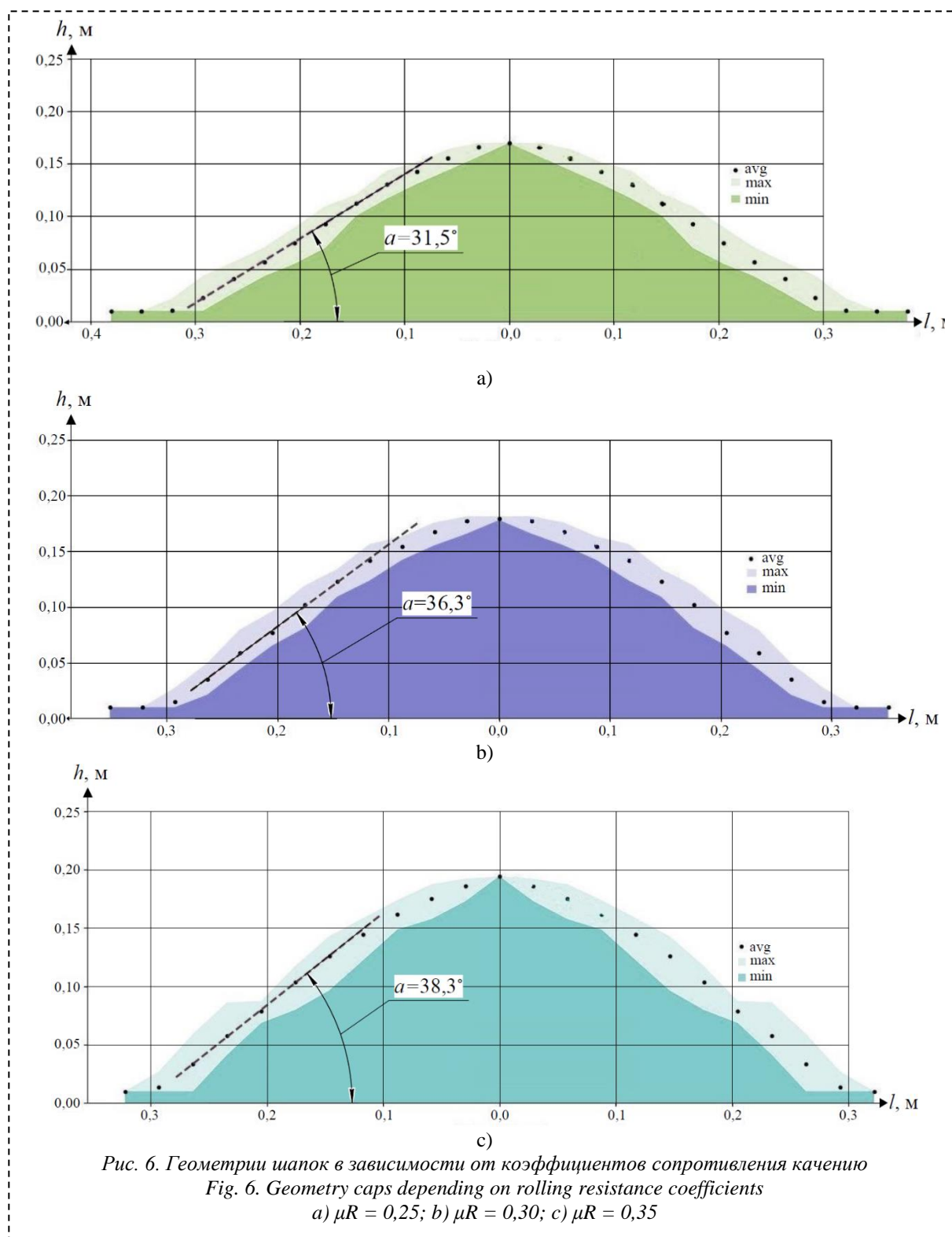
В работе:

– Определены параметры модели суглинка и глины: коэффициент сопротивления качения  $\mu R = 0,30$ ; естественный угол откоса модели суглинка и глины  $\alpha = 36,3^\circ$ ; насыпная плотность  $\rho_n = 2 \text{ т/м}^3$ .

– Полученные результаты параметров модели суглинка и глины являются исходными данными для последующего имитационного моделирования процессов погрузки и разгрузки при разработке новых ГП КС грузоподъемностью 220 тонн.

#### **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 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.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хазин М. Л. Направления развития карьерного автотранспорта // Недропользование. 2021. Т. 21. № 3. С. 144–150. DOI 10.15593/2712-8008/2021.3.7.
2. 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.
3. 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.
4. Яковлев В. Л., Тарасов П. И., Журавлев А. Г., Мариев П. Л. Требования к совершенствованию конструкций карьерных автосамосвалов // *Механика машин, механизмов и материалов*. 2012. № 3–4(20–21). С. 86–92.
  5. Журавлев А. Г. Выбор рациональной грузоподъемности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования // *Транспорт Урала*. 2014. № 4(43). С. 96–101.
  6. Исмаилова Ш. Я. Математическая модель и проведение имитационного моделирования породной грузовой платформы карьерного самосвала // *Россия Молодая : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XIV 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.
  7. Дубинкин Д. М., Ялышев А. В., Исмаилова Ш. Я. Тенденции развития грузовых платформ карьерных самосвалов // *Горная промышленность*. 2023. № 3. С. 72–76. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-3-72-76.
  8. 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.
  9. 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.
  10. Читалов Л. С., Львов В. В. Обзор компьютерных программ для моделирования процессов рудоподготовки и обогащения // *Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса: Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции*, Санкт-Петербург, 05–06 марта 2020 года. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет, 2020. С. 1517–1523.
  11. Chitalov L. S., Lvov V. V. New approaches in mineral raw materials comminution tests modelling // *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*, Saint-Petersburg, 27–29 ноября 2019 года. Saint-Petersburg, 2021. P. 146–151.
  12. Воронков В. Ф. Геомеханика открытых горных работ : учебное пособие / ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. открытых горн. работ. – Кемерово : КузГТУ, 2011. 61 с. URL: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90625&type=utchposob:common> (дата обращения: 30.11.2023).
  13. Жариков В. П. Рекультивация гидроотвалов вскрышных пород на разрезах Кузбасса // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2012. № 1. С. 42–47.
  14. Определение гранулометрического состава грунта – Треугольник Ферре [Электронный ресурс] // URL: <https://kalk.pro/articles/foundation-ground-base/determination-of-granulometric-composition-of-the-soil-triangle-ferret-how-to-use-it> (дата обращения: 21.05.2023).
  15. Müller D., Fimbinger E., Brand C. Algorithm for the determination of the angle of repose in bulk material analysis. *Powder Technology*. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.01.010.
  16. Wójcik A., Klapa P., Miłka B., Śladek J. The use of the photogrammetric method for measurement of the repose angle of granular materials. *Measurement* 2018, 115, 19–26.
  17. Механика грунтов: методические указания и индивидуальные контрольные задания для студентов заочной формы обучения / ЮгоЗападный гос. ун-т; Сост. С. П. Иванов. Курск, 2011. 40с. : ил. 5, табл.16, прилож.2. Библиогр.: с.40.
  18. Грунтоведение / Под ред. В. Т. Трофимова. М. : Наука, МГУ, 2005. 1023 с.
  19. Абатуров В. Г., Овчинников В. П. Физико-механические свойства горных пород и породоразрушающий буровой инструмент : [учебное пособие для вузов] / Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Тюменский гос. нефтегазовый ун-т», Ин-т нефти и газа. Тюмень : [Изд-во Экспресс], 2008. 238 с.
  20. Абуханов, А. З. Механика грунтов : учеб. пособие / Ростов-на-Дону : Феникс, 2006. – 348 с. : ил.
  21. Hamzah M. Beakawi Al-Hashemi, Omar S. Baghabra Al-Amoudi, A review on the angle of repose of granular materials, *Powder Technology*, Volume. 2018. 330. 397–417.
  22. Патент на полезную модель № 101834 U1 Российская Федерация, МПК G01N 11/00. Устройство для измерения угла естественного откоса сыпучего материала : № 2010139706/28 : заявл. 27.09.2010 : опубл. 27.01.2011 / В. А. Пахлян, И. А. Пахлян, Ю. М. Проселков; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный технологический университет» (ГОУ ВПО «КубГТУ»).

© 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****DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE OF LOAM AND CLAY MODEL FOR SIMULATION OF LOADING AND UNLOADING OF THE CARGO PLATFORM OF A QUARRY 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:** open-pit mining, dump truck, cargo platform, MDE, clay, loam.

**Abstract.**

*The justification of the design parameters of the cargo platform of a dump truck depends on various factors, among which is the transported rock mass. The purpose of this study is to determine the parameters of the bulk material model loam and clay for the simulation of loading and unloading processes of a 220-ton dump truck cargo platform using the discrete element method. The analysis of the parameters of loam and clay as a loose medium is carried out. The parameters of the model of loamy and clay bulk media for simulation by the method of discrete elements are determined. The results of a study on determining the parameters of the loam and clay model depending on rolling resistance and bulk density are presented. The validation of the obtained results of the simulation of loam and clay was carried out by comparing the slope angle of the obtained models and the real geometry of the loam-clay cap.*

**For citation:** Dubinkin D.M., Ismailova Sh.Ya. Determination of parameters of the of loam and clay model for simulation of loading and unloading of the cargo platform of a quarry dump truck.. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2023; 6(160):94-104. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2023-6-94-104, EDN: JWQMCQ

**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. Khazin M.L. Directions of development of career vehicles. *Subsurface use*. 2021; 21(3):144–150. DOI: 10.15593/2712-8008/2021.3.7
2. 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.
3. 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.
4. Yakovlev V.L., Tarasov P.I., Zhuravlev A.G., Mariev P.L. Requirements for improving the designs of quarry dump trucks. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*. 2012; 3–4(20–21):86–92.
5. Zhuravlev A.G. The choice of rational loading capacity of dump trucks for specific transportation conditions. *Transport of the Urals*. 2014;4(43):96–101.
6. Ismailova Sh.Ya. Mathematical model and simulation of a rock cargo platform of a dump truck. *Young Russia : COLLECTION OF MATERIALS OF THE XIV ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION, Kemerovo, April 18-21, 2023*. Kemerovo: Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; 2023. Pp. 423051–423055.
7. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V., Ismailova Sh.Ya. Trends in the development of cargo platforms of quarry dump trucks. *Mining industry*. 2023; 3:72–76. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-3-72-76.
8. Litvin O.I., Khoreshok A.A., Dubinkin D.M., Markov S.O., Stenin D.V., Tyulenev M.A. Analysis of methods for calculating the productivity of quarry hydraulic excavators. *Mining industry*. 2022; 5:112–120. DOI :10.30686/1609-9192-2022-5-112-120.
9. Dubinkin D.M., Yalyshev A.V. Determination of static loads on board the cargo platform of a dump truck. *Mining industry*. 2022; 6: 137–144. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-6-137-144.
10. Chitalov L.S., Lvov V.V. Review of computer programs for modeling ore preparation and enrichment processes. *Modern educational technologies in the training of specialists for the mineral resource complex : Collection of scientific papers of the III All-Russian Scientific Conference, St. Petersburg, 05-06 March 2020*. St. Petersburg: St. Petersburg Mining University; 2020. Pp. 1517–1523.
11. Chitalov L.S., Lvov V.V. New approaches in mineral raw materials comminution tests modeling. *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals, Saint Petersburg, November 27–29, 2019*. Saint-Petersburg, 2021. P. 146–151.
12. Voronkov V.F. Geomechanics of open-pit mining : a textbook. Kuzbass State Technical University. T. F. Gorbachev University", Department of Open Mining Works. Kemerovo : KuzSTU; 2011. 61 p. URL: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90625&type=utchposob:common> (date of application: 11/30/2023).
13. Zharikov V.P. Recultivation of hydraulic overburden dumps in Kuzbass sections. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2012; 1:42–47.
14. Determination of the granulometric composition of the soil – Ferret Triangle [Electronic resource]. URL: <https://kalk.pro/articles/foundation-ground-base/determination-of-granulometric-composition-of-the-soil-triangle-ferret-how-to-use-it> (date of application: 05/21/2023).
15. Müller D., Fimbinger E., Brand C. Algorithm for the determination of the angle of repose in bulk material analysis. *Powder Technology*. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.01.010.
16. Wójcik A., Kłapa P., Mitka B., Śladek J. The use of the photogrammetric method for measurement of the repose angle of granular materials. *Measurement* 2018; 115:19–26.
17. Soil mechanics: guidelines and individual control tasks for correspondence students./Southwestern State University; Comp. S.P. Ivanov. Kursk, 2011. 40s. : ill. 5, Table 16, appendix.2. Bibliogr.: p.40.
18. Soil science. Edited by V.T. Trofimov. M.: Nauka; Moscow State University; 2005. 1023 p.
19. Abatur V.G., Ovchinnikov V.P. Physico-mechanical properties of rocks and rock-destroying drilling tools :

[textbook for universities]; Federal Agency for Education, State Educational Institution of Higher Education. Prof. Tyumen State Oil and Gas University, Institute of Oil and Gas. Tyumen: [Express Publishing House]; 2008. 238 p.

20. Abukhanov A.Z. Mechanics of soils [Text] : textbook. the manual / Rostov-on-Don : Phoenix, 2006. 348 p. : ill.

21. Hamzah M. Beakawi Al-Hashemi, Omar S. Baghabra Al-Amoudi, A review on the angle of repose of granular materials. *Powder Technology*. 2018; 330:397–417.

22. Utility Model Patent No. 101834 U1 Russian Federation, IPC G01N 11/00. Device for measuring the angle of natural slope of bulk material : No. 2010139706/28 : application. 09/27/2010 : publ. 01/27/2011. V. A. Pakhlyan, I. A. Pakhlyan, Yu. M. Proselkov ; applicant State Educational Institution of Higher Professional Education "Kuban State Technological University" (State Educational Institution of Higher Education "KubSTU").

© 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.*

