

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУЗОПОТОКА В БУНКЕРЕ-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕ С ГРАВИТАЦИОННОЙ ЗАГРУЗКОЙ

**А.С. Носенко<sup>1</sup>**, Е.А. Шемшура<sup>1</sup>, В.В. Носенко<sup>1</sup>, М.С. Алтунина<sup>1</sup>, И.А. Кирсанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Шахтинский автодорожный институт (филиал)  
Южно-Российского государственного политехнического университета  
(НПИ) имени М.И. Платова, Шахты, Россия, e-mail: mariyaltunina@mail.ru

**Аннотация:** Рассмотрен горнопроходческий бункер-перегрузатель, предусматривающий гравитационную загрузку, с одновременным расположением его под углом наклона к почве выработки. Объектом исследования является бункер-перегрузатель с гидравлическим приводом транспортирующего элемента периодического действия. С целью установления корреляционной зависимости между количеством материала в бункере-перегрузателе от угла его установки, проверки адекватности и уточнения теоретических зависимостей и математической модели проведен комплекс исследований на экспериментальной модельной установке, подробное описание которой приведено в работе. Во время эксперимента производились замеры массы сыпучего крупнокускового материала, заполнявшего желоб при гравитационной загрузке при различных углах его наклона к почве выработки. В результате проведенных замеров сформирован массив случайных величин (масса материала в желобе). Для обработки полученных данных применены классические методы математической статистики. Методика расчетов приведена в статье. Определен закон распределения случайных величин массы погружаемого материала, связанный с решением двух главных задач математической статистики — оценки неизвестных параметров выборки и проверки статистических гипотез. Экспериментально доказано, что случайные значения массы погружаемого материала подчиняются нормальному закону распределения. Установлена степень соответствия теоретического распределения данным эксперимента с помощью критерия согласия Пирсона.

**Ключевые слова:** бункер-перегрузатель, гравитационная загрузка, экспериментальные исследования, массив данных, масса погружаемого материала, статистическая обработка, плотность распределения, корреляционная зависимость, закономерность формирования грузопотока.

**Для цитирования:** Носенко А. С., Шемшура Е. А., Носенко В. В., Алтунина М. С., Кирсанов И. А. Экспериментальные исследования формирования грузопотока в бункере-перегрузателе с гравитационной загрузкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1. – С. 146–156. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_1\_0\_146.

### Experimental research of product flow in gravity loading hopper

**A.S. Nosenko<sup>1</sup>**, E.A. Shemshura<sup>1</sup>, V.V. Nosenko<sup>1</sup>, M.S. Altunina<sup>1</sup>, I.A. Kirsanov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Shakhty Automobile and Road Institute (branch) of M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Shakhty, Russia, e-mail: mariyaltunina@mail.ru

---

**Abstract:** The test object is a mine loading hopper set at an angle relative to the roadway floor and equipped with a hydraulically driven batch-operation transporting element. Aimed at correlating the quantity of material in the hopper and the hopper angle, and at checking and adjustment of theoretical relations and mathematical model, the tests were carried out on an experimental model set described in detail in the article. The experimentation included weight measurement of coarse free-flowing material in the hopper chute during gravity loading at different angles of the chute relative to the roadway floor. As a result of the measurements, a random data array (weight of material in chute) was accumulated. The data processing used the classical methods of mathematical statistics. The calculation procedure is presented in the article. The distribution law of the random values of the loaded material weight is found: it depends on the solution of two main problems in mathematical statistics — estimate of unknown sampling parameters and checking of statistical hypotheses. It is experimentally proved that the random values of the loaded material weights obey the normal distribution law. The agreement of the theoretical and experimental distributions is determined using the Pearson Criterion.

**Key words:** loading hopper, gravity loading, experimental research, data array, loaded material weight, statistical processing, distribution density, correlation dependence, product flow law.

**For citation:** Nosenko A. S., Shemshura E. A., Nosenko V. V., Altunina M. S., Kirsanov I. A. Experimental research of product flow in gravity loading hopper. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(1):146-156. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_1\_0\_146.

---

## Введение

Повышение эффективности функционирования горнопроходческих систем в области механизации погрузочно-разгрузочных работ актуализирует проблематику поиска новых технико-технологических решений, что подтверждает целый ряд публикаций соответствующей тематики [1 – 15].

Рассматриваемый горнопроходческий бункер-перегрузатель предполагает гравитационную загрузку с одновременным расположением его под углом наклона к почве выработки [16].

Выполнены теоретические исследования по изучению поведения крупнокускового сыпучего материала в бункере-перегрузателе при его гравитационной загрузке [17]. Установлены основные закономерности поведения сыпучего материала в зависимости от угла наклона  $\varphi$ , вида материала, характеризующегося углом естественного откоса  $\varphi_0$ , углом

трения по поверхности желоба  $\mu_{\text{тр}}$  и углом внутреннего трения  $\rho_0$ . Получены качественные и количественные зависимости. Разработана математическая модель для определения влияния указанных параметров на формирование фактического объема материала в желобе в виде алгоритма расчета и блок-схемы.

## Методы и результаты статистической обработки результатов экспериментальных исследований

С целью установления корреляционной зависимости между количеством материала в бункере-перегрузателе и углом его установки, проверки адекватности и уточнения теоретических зависимостей и математической модели проведен комплекс исследований на экспериментальной модельной установке, подробное описание которой приведено в ра-

боте [18]. Во время эксперимента производились замеры массы сыпучего крупнокускового материала, заполнявшего желоб при гравитационной загрузке при различных углах его наклона к почве выработки.

Методика проведения экспериментальных исследований заключается в следующем.

1. Желоб устанавливается под углом к поверхности  $\varphi$  согласно программе эксперимента. Значение  $\varphi$  установлено в пределах от нуля градусов до значения угла внутреннего трения материала  $\varphi_0$  (в нашем случае  $\varphi_0 = 45^\circ$ ).

2. Производится его гравитационная загрузка с одной стороны желоба крупнокусковым сыпучим материалом, имитирующая работу проходческой машины.

3. После достижения штабеля высоты, не превышающей высоту борта плюс размер среднего куска транспортируемого материала, процесс останавливается.

4. Производится фотофиксация материала в желобе, накопленного в бункере-перегрузателе, с последующим его взвешиванием.

5. Опыты проводятся сериями. В каждой серии предусмотрено не менее ше-

сти замеров. Обоснование достаточности такого количества опытов в серии подробно приведено в работе [18].

6. Затем меняется угол наклона перегружателя, и опыты повторяются.

Условия проведенного эксперимента и его результаты приведены в табл. 1. Результаты замеров представляют собой массив случайных величин массы погружаемого материала, которая находится в желобе перегружателя. Сформирован статистический ряд из 30 реализаций случайных значений массы погружаемого материала, диапазон изменений которого находится в пределах от 9,8 до 29,1 кг.

Для установления соответствия экспериментальных данных теоретическому закону распределения случайных величин проведен статистический анализ и определены начальные и центральные моменты случайной величины массы погружаемого материала [19]:

- статистическое среднее математическое ожидание:  $m'_x = 16,69$ ;
- статистическая средняя дисперсия:  $D'_x = 19,81$ ;
- асимметрия:  $S_k = 0,750031$ ;
- эксцесс:  $\varepsilon_x = -0,63611$ .

Таблица 1

**Условия испытаний и результаты эксперимента**  
**Test conditions and experimental results**

Показатель	Параметр				
Длина желоба, м	1				
Ширина желоба, м	0,25				
Высота желоба, м	0,15				
Угол наклона, град	0	10	20	30	45
Масса, кг	10	13,6	18,3	29,1	14,2
	9,8	14,2	19,2	28	14,1
	10,6	14	19,4	27,6	13,7
	10,3	13,7	19	28,7	14,3
	10	13,9	18,8	28,4	14
	10,2	14,1	19,3	28,1	13,8

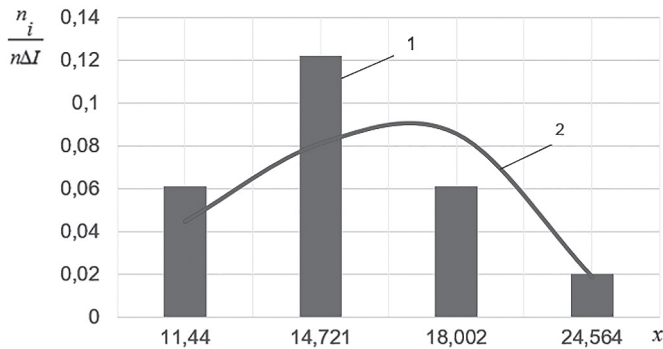


Рис. 1. Гистограмма 1 и выравнивающая кривая 2 нормального распределения случайной величины массы погружаемого материала

Fig. 1. Bar chart 1 and leveling curve 2 of the normal distribution of the random variable of the mass of the submerged material

Кроме этого, определены:

- статистическое среднее квадратическое отклонение  $\sigma'_x = 4,450565$ ;
- коэффициент вариации  $v'_x = 0,266667$ .

По результатам статистического анализа построена гистограмма распределения случайной величины, представленная на рис. 1.

Для подбора вида теоретической функции распределения, описывающей полученное эмпирическое распределение, как основу используют внешний вид гистограммы и величину коэффициента вариации случайной величины. Коэффициент вариации находится в пределах от 0 до 0,33. Такое его значение и вид гистограммы характерны для нормального закона распределения случайной величины [20]. На основании проведенного анализа выдвинута гипотеза о нор-

мальном законе распределения случайных значений массы погружаемого материала:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1)$$

где  $m_x$  и  $\sigma_x$  — математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение случайной величины массы погружаемого материала.

По формуле (1) в табличной форме (табл. 2) рассчитаны значения плотности нормального распределения для середин интервалов.

На основании данных табл. 2 построена выравнивающая кривая нормального распределения (рис. 1). Полученная кривая свободна от дискретности гистограммы и представляет собой непрерывный график теоретической функции, который отражает все особенности нормального распределения.

Таблица 2

#### Расчет плотности нормального распределения

#### Normal Distribution Density Calculation

Начало интервала	Конец интервала	Середина интервала, $x_i$	$-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}$	$e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$	Плотность распределения $f(x)$
9,8	13,08	11,44	-0,69583	0,498697	0,044719
13,081	16,361	14,721	-0,09785	0,906793	0,081315
16,362	19,642	18,002	-0,04349	0,957447	0,085857
19,643	29,485	24,564	-1,56561	0,208993	0,018741

Степень соответствия между выдвинутой гипотезой о нормальном законе распределения случайных величин массы погружаемого материала и результатами эксперимента устанавливается с помощью критериев согласия. В настоящем исследовании использован критерий согласия Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (2)$$

где  $\chi^2$  — критерий согласия Пирсона;  $k$  — количество интервалов группирования случайной величины массы погружаемого материала;  $n_i$  — количество значений случайной величины массы погружаемого материала, попадающих в  $i$ -й интервал;  $n$  — общее число полученных значений массы погружаемого материала;  $p$  — теоретическая вероятность попадания случайной величины массы погружаемого материала в  $i$ -й интервал.

Так как объем выборки небольшой — 30 значений (до 100), подтверждение гипотезы производится при уровне значимости 0,05. Число степеней свободы в рассматриваемом случае равно 1. В результате расчетов получено экспериментальное значение статистики Пирсона  $\chi^2 = 3,59$ , и по таблицам распределения  $\chi^2$  определены границы критической области  $K_{кр} = \chi^2(1; 0,05)$ .

Экспериментальное значение статистики Пирсона не попадает в критическую область, поэтому нет основания отвергать основную гипотезу о том, что данные выборки случайных величин массы погружаемого материала распределены по нормальному закону.

На основании того, что эмпирические данные починаются нормальному закону распределения, к выборке экспериментальных данных для установления корреляционной зависимости между эксплуатационными и конструктивными параметрами перегружателя применен метод наименьших квадратов.

## Результаты экспериментальных исследований

В результате проведенных экспериментов установлено влияние угла наклона бункера-перегрузателя на количество погружаемого материала, попавшего в желоб при гравитационной загрузке.

Величина массы погружаемого материала и угол наклона желоба бункера-перегрузателя связаны корреляционной зависимостью  $m = f(\varphi)$ . На основании полученных опытных данных методом наименьших квадратов определен вид этой зависимости. Данный метод основан на том, что требование наилучшего согласования теоретической кривой зависимости массы погружаемого материала от угла наклона желоба  $m = f(\varphi)$  и экспериментальных данных сводится к тому, чтобы сумма квадратов отклонений данных эксперимента от выравнивающей кривой оказалась минимальной.

На первоначальном этапе обработки данных эксперимента предположено, что преобладающим видом зависимости производительности перегружателя от угла наклона питателя является квадратичная зависимость.

Эмпирическая формула может быть представлена параболой второго порядка:

$$m = a \cdot \varphi_1^2 + b \cdot \varphi_1 + c. \quad (3)$$

В этом случае сумма квадратов отклонений для нее имеет вид

$$S = \sum_{i=1}^n [m_i - (a\varphi^2 + b\varphi + c)]^2. \quad (4)$$

Частные производные по трем параметрам представлены следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial a} &= \sum_{i=1}^n 2 [m_i - (a\varphi^2 + b\varphi + c)] (-\varphi_i^2) = \\ &= -2 \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 [m_i - (a\varphi^2 + b\varphi + c)] \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2[m_i - (a\varphi^2 + b\varphi + c)](-\varphi_i) =$$

$$= -2 \sum_{i=1}^n \varphi_i [m_i - (a\varphi^2 + b\varphi + c)] \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = \sum_{i=1}^n 2[m_i - (a\varphi^2 + b\varphi + c)](-1) =$$

$$= -2 \sum_{i=1}^n [m_i - (a\varphi^2 + b\varphi + c)] \quad (7)$$

В результате преобразований получена нормальная система уравнений следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} a \sum_{i=1}^n \varphi_i^4 + b \sum_{i=1}^n \varphi_i^3 + c \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 &= \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 m_i \\ a \sum_{i=1}^n \varphi_i^3 + b \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 + c \sum_{i=1}^n \varphi_i &= \sum_{i=1}^n \varphi_i m_i \\ a \sum_{i=1}^n \varphi_i^2 + b \sum_{i=1}^n \varphi_i + cn &= \sum_{i=1}^n m_i \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

В табличной форме проведен расчет коэффициентов нормальной системы для

квадратичной зависимости (см. табл. 3). На основании табл. 3 получены значения коэффициентов при неизвестных системы уравнений (8) и представлены в форме табл. 4.

В результате нормальная система уравнений (10) имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} 5080625a + 127125b + 3425c &= 62860,4 \\ 127125a + 3425b + 105c &= 1999,42 \\ 3425a + 105b + 5c &= 85,4 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Параметры квадратичной зависимости получены решением системы уравнений (9):

$$a = -0,0209; b = 1,1161; c = 7,9824.$$

Эмпирическая формула зависимости массы погружаемого материала от угла установки бункера-перегрузателя имеет следующий вид:

$$m = -0,0209\varphi_i^2 + 1,1161\varphi_i + 7,9824.$$

Таблица 3

**Расчет коэффициентов нормальной системы для квадратичной зависимости**  
**Calculation of coefficients of the normal system for a quadratic dependence**

№ опыта	Угол наклона питателя, $\varphi_i$	Среднее значение массы погружаемого материала, $m_i$	$\varphi_i^2$	$\varphi_i^3$	$\varphi_i^4$	$\varphi_i \cdot m_i$	$\varphi_i^2 \cdot m_i$
1	0	10,15	0	0	0	0	0
2	10	13,91667	100	1000	10 000	139,166667	1391,666667
3	20	19	400	8000	160 000	380	7600
4	30	28,31667	900	27 000	810 000	849,5	25 485
5	45	14,01667	2025	91 125	4100 625	630,75	28 383,75
$\Sigma$	105	85,4	3425	127 125	5080 625	1999,41667	62 860,41667

Таблица 4

**Коэффициенты нормальной системы уравнений**  
**Coefficients of the normal system of equations**

Номер уравнения	$a$	$b$	$c$	Свободный член
1	5 080 625	127 125	3425	62 860,41
2	127 125	3425	105	1999,41
3	3425	105	5	85,4

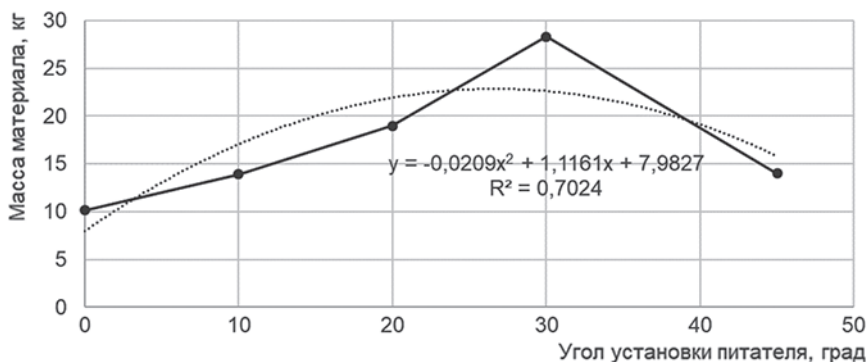


Рис. 2. Зависимость массы погружаемого материала от угла наклона

Fig. 2 The dependence of the mass of the immersed material on the angle of inclination

Графическое представление эмпирических данных и кривой зависимости массы погружаемого материала от угла наклона бункера-перегрузателя приведено на рис. 2.

Произведена оценка тесноты корреляционной связи между массой погружаемого материала и углом наклона бункера-перегрузателя.

В данном случае целесообразно использовать корреляционное поле, показанное на рис. 2, поскольку оно демонстрирует, что для максимального увеличения массы погружаемого материала перегружатель следует установить под углом, равным 30°. Количество погружаемого материала резко падает как при слишком большом (45°), так и при слишком маленьком угле наклона (0°). Этот вывод можно сделать, наблюдая на диаграмме сильную взаимосвязь между массой погружаемого материала и углом наклона бункера-перегрузателя (рис. 2).

Оценка тесноты связи между массой погружаемого материала  $m$  и углом наклона перегружателя  $\varphi$  производится с помощью корреляционного отношения  $\eta$  зависимой переменной  $m$  по независимой переменной  $\varphi$ :

$$\eta = \sqrt{S_{mj}^2 / S_m^2} = S_{mj} / S_m, \quad (10)$$

где  $S_{mj}$  и  $S_m$  — межгрупповая и общая дисперсии соответственно.

После выполнения расчетов получен результат корреляционного отношения —  $\eta = 0,99$ . Полученное корреляционное отношение находится в допустимых пределах  $0 \leq \eta \leq 1$  и характеризует связь между массой погружаемого материала и углом наклона бункера-перегрузателя как очень тесную.

### Заключение

В результате выполненных экспериментальных исследований, с последующей статистической обработкой полученных массивов данных, установлены закономерности формирования грузопотока в бункере-перегрузателе при его гравитационной загрузке. Доказано, что случайные значения массы погружаемого материала  $X_i$  подчиняются нормальному закону распределения.

Получена искомая эмпирическая формула, устанавливающая взаимосвязь между количеством материала в бункере и углом его установки.

Проведенный комплекс теоретических [17, 18] и экспериментальных исследований, основные результаты которых изложены в статье, позволяют обобщенно переходить к вопросу разработки методики выбора рациональных параметров горнопроходческих бункеров-перегрузателей, использующих в своих конструкциях принцип гравитационной

загрузки и, в качестве привода разгрузочного механизма — силовые гидравлические цилиндры. В качестве целевой функции предложено использовать производительность перегружателя, которая напрямую связана с объемом материала, накапливаемого в его желобе без

осуществления дополнительных маневровых операций.

Авторы выражают признательность за помощь коллегам и людям, чей вклад в данную работу носил чисто технический характер.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н.* Основы проектирования исполнительных органов тоннелепроходческих машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 6. — С. 156–164. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-156-164.
2. *Burt C. N., Caccetta L.* Equipment selection for mining: With case studies / Studies in Systems, Decision and Control. 2018. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-76255-5-11.
3. *Li Y., Mu X., Fan R.* Multi-objective optimization and simulation of novel working mechanism for face-shovel excavator // International Journal of Intelligent Robotics and Applications. 2021, vol. 5, no. 1, pp. 1–9. DOI: 10.1007/s41315-020-00160-1.
4. *Suryo S. H., Bayuseno A. P., Jamari J., Wahyudi I. A.* Analysis of rake angle effect to stress distribution on excavator bucket teeth using finite element method // Civil Engineering Journal. 2017, vol. 3, no. 12, pp. 1222–1234. DOI: 10.28991/cej-030952.
5. *Wang X., Sun H., Feng M., Ren Z., Liu J.* Dynamic analysis of working device of excavator under limit digging force // Journal of the Institution of Engineers. 2021, vol. 102, no. 5, pp. 1137–1144. DOI: 10.1007/s40032-021-00725-4.
6. *Пименов С. А.* Формулировка метода оценки вероятности безотказной работы конструкций на основе сочетания статистического моделирования и численных методов оценки напряжений // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. — 2021. — № 70. — С. 51–63. DOI: 10.17223/19988621/70/5.
7. *Галкин В. И., Доблер М. О.* Анализ конструктивных особенностей става ленточного конвейера типа Роресон® // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 8. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-8-0-85.
8. *Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н., Линник В. Ю.* Оценка влияния абразивности горных пород на параметры породоразрушающих машин // Записки Горного института. — 2019. — Т. 240. — С. 621. DOI: 10.31897/PM1.2019.6.621.
9. *Юнгмейстер Д. А., Тимофеев М. И., Исаев А. И., Гасымов Э. Э.* Совершенствование исполнительного органа тоннелепроходческого механизированного комплекса S-782 // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 1. — С. 107–118. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-1-0-107.
10. *Aldannawy H., Rouabhi A., Gerbaud L.* Percussive drilling: Experimental and numerical investigations // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2022, vol. 55, no. 3, pp. 1555–1570. DOI: 10.1007/s00603-021-02707-5.
11. *Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Петров И. В., Цих А. Д.* Оценка надежности резцов угледобывающих машин // Уголь. — 2021. — № 2. — С. 10–13. DOI: 10.18796/00415790-2021-2-10-13.
12. *Zhukov I. A., Repin A. A., Timofeev E. G.* Automated calculation and analysis of impacts generated in mining machine by anvil blocks of complex geometry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018, vol. 134, no. 1, article 012071. DOI: 10.1088/1755-1315/134/1/012071.



13. Панфилова О. Р., Великанов В. С. Некоторые аспекты расчета и выбора параметров элементов металлоконструкций горнотранспортных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 1. – С. 141–148. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-141-148.

14. Семенкин А. В. Обзор применения крутонаклонных конвейеров в качестве карьерного и магистрального транспорта // Проблемы недропользования. – 2020. – № 2. – С. 25–36. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.025.

15. Droettboom M. Belt conveying – as the crow flies: belt conveyor truss suspended on ropes [Электронный ресурс] // Bulk-online: [сайт]. 2019. URL: <https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling-archive/belt-conveying-as-the-crow-flies-belt-conveyor-truss-suspended-on-ropes.html> (дата обращения 03.10.2021).

16. Носенко А. С., Домницкий А. А., Хазанович В. Г., Носенко В. В., Зубов В. В., Кирсанов И. А. Патент RU 2702211 МПК В65G11/02 Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов; патентообладатель Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова, № 2018144214; заявл. 13.12.18; опубл. 04.10.2019, Бюл. № 28.

17. Носенко А. С., Домницкий А. А., Носенко В. В., Зубов В. В., Кирсанов И. А. Теоретические исследования бункер-перегрузателей с гравитационной загрузкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 8. – С. 111–120. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-8-0-111.

18. Носенко А. С., Домницкий А. А., Алтунина М. С., Зубов В. В. Результаты теоретических и экспериментальных исследований бункер-перегрузателя с гидравлическим приводом транспортирующего элемента периодического действия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 119–130. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-119-130.

19. Носенко А. С., Шемшура Е. А. Проектирование рабочих органов шахтных погрузочных машин на основе прогнозных показателей надежности // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – № 2. – С. 71–77.

20. Хазанович Г. Ш. Актуальные направления научных исследований горнопроходческого оборудования // Горное оборудование и электромеханика. – 2018. – № 2 (136). – С. 41–45. **MIAB**

## REFERENCES

1. Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A., Linnik Yu. N. Design basis for tunnel boring machine cutter heads. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 6, pp. 156–164. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-156-164.

2. Burt C. N., Caccetta L. Equipment selection for mining: With case studies. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2018. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-76255-5-11.

3. Li Y., Mu X., Fan R. Multi-objective optimization and simulation of novel working mechanism for face-shovel excavator. *International Journal of Intelligent Robotics and Applications*. 2021, vol. 5, no. 1, pp. 1–9. DOI: 10.1007/s41315-020-00160-1.

4. Suryo S. H., Bayuseno A. P., Jamari J., Wahyudi I. A. Analysis of rake angle effect to stress distribution on excavator bucket teeth using finite element method. *Civil Engineering Journal*. 2017, vol. 3, no. 12, pp. 1222–1234. DOI: 10.28991/cej-030952.

5. Wang X., Sun H., Feng M., Ren Z., Liu J. Dynamic analysis of working device of excavator under limit digging force. *Journal of the Institution of Engineers*. 2021, vol. 102, no. 5, pp. 1137–1144. DOI: 10.1007/s40032-021-00725-4.

6. Pimenov S. A. Formulation of a method of reliability assessment for constructions on the basis of a combination of statistical modeling and numerical methods of stress evaluation. *Tomsk state university. Journal of mathematics and mechanics*. 2021, no. 70, pp. 51–63. [In Russ]. DOI: 10.17223/19988621/70/5.

7. Galkin V. I., Dobler M. O. Structural features of belt conveyor of RopeCon® type. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 8, pp. 85 – 94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-8-0-85.
8. Zhabin A. B., Polyakov A. V., Averin E. A., Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. Evaluation of the impact of rock abrasiveness on the parameters of rock cutting machines. *Journal of Mining Institute.* 2019, vol. 240, pp. 621. [In Russ]. DOI: 10.31897/PM1.2019.6.621.
9. Yungmeister D. A., Timofeev M. I., Isaev A. I., Gasymov E. E. Improvement of tunnel boring machine S-782 cutter head. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023, no. 1, pp. 107 – 118. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2023-1-0-107.
10. Aldannawy H., Rouabhi A., Gerbaud L. Percussive drilling: Experimental and numerical investigations. *Rock Mechanics and Rock Engineering.* 2022, vol. 55, no. 3, pp. 1555 – 1570. DOI: 10.1007/s00603-021-02707-5.
11. Linnik Yu. N., Linnik V. Yu., Petrov I. V., Tsikh A. D. Evaluation of the reliability of cutters of coal mining machines. *Ugol'.* 2021, no. 2, pp. 10 – 13. [In Russ]. DOI: 10.18796/00415790-2021-2-10-13.
12. Zhukov I. A., Repin A. A., Timofeev E. G. Automated calculation and analysis of impacts generated in mining machine by anvil blocks of complex geometry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* 2018, vol. 134, no. 1, article 012071. DOI: 10.1088/1755-1315/134/1/012071.
13. Panfilova O. R., Velikanov V. S. Some aspects of determination of parameters for metal elements of mining and transport machines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 1, pp. 141 – 148. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-0-141-148.
14. Semenkin A. V. Review of the use of steeply inclined conveyors as a career and main transport. *Problems of Subsoil Use.* 2020, no. 2, pp. 25 – 36. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.025.
15. Droettboom M. *Belt conveying – as the crow flies: belt conveyor truss suspended on ropes*, available at: <https://news.bulk-online.com/bulk-solids-handling-archive/belt-conveying-as-the-crow-flies-belt-conveyor-truss-suspended-on-ropes.html> (accessed 03.10.2021).
16. Nosenko A. S., Domnitskiy A. A., Khazanovich V. G., Nosenko V. V., Zubov V. V., Kirsanov I. A. *Patent RU 2702211 IPC B65G11/02*, 04.10.2019. [In Russ].
17. Nosenko A. S., Domnitskiy A. A., Nosenko V. V., Zubov V. V., Kirsanov I. A. Theoretical study of bunker loaders with gravity feeding. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 8, pp. 111 – 120. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-8-0-111.
18. Nosenko A. S., Domnitskiy A. A., Altunina M. S., Zubov V. V. Theoretical and experimental research findings on batch-operation bin loader with hydraulically driven conveying element. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 11, pp. 119 – 130. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-119-130.
19. Nosenko A. S., Shemshura E. A. Design of working bodies of mine loading machines on the basis of predictive indicators of reliability. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii region. Technical science.* 2009, no. 2, pp. 71 – 77. [In Russ].
20. Khazanovich G. Sh. Actual directions of scientific research of mining equipment. *Mining equipment and electromechanics.* 2018, no. 2 (136), pp. 41 – 45. [In Russ].

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Носенко Алексей Станиславович<sup>1</sup> – д-р техн. наук, профессор, e-mail: asnosenko@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9345-7709,  
Шемшура Елена Анатольевна<sup>2</sup> – канд. техн. наук, доцент, e-mail: aleshkastyle@gmail.com,

*Носенко Виктория Владимировна*<sup>1</sup> — канд техн. наук,  
доцент, e-mail: vvnosenko@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-3003-8440,  
*Алтунина Мария Сергеевна*<sup>1</sup> — канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: mariyaltunina@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-5598-2564,  
*Кирсанов Иван Анатольевич*<sup>1</sup> — старший  
преподаватель, e-mail: hexomen@rambler.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-6632-904X,  
<sup>1</sup> Шахтинский автодорожный институт (филиал)  
Южно-Российского государственного политехнического  
университета (НПИ) имени М.И. Платова.  
**Для контактов:** Алтунина М.С., e-mail: mariyaltunina@mail.ru.

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*A.S. Nosenko*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
e-mail: asnosenko@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-9345-7709,  
*E.A. Shemshura*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Assistant Professor,  
e-mail: aleshkastyle@gmail.com,  
*V.V. Nosenko*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Assistant Professor,  
e-mail: vvnosenko@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0003-3003-8440,  
*M.S. Altunina*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Assistant Professor,  
e-mail: mariyaltunina@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-5598-2564,  
*I.A. Kirsanov*<sup>1</sup>, Senior Lecturer,  
e-mail: hexomen@rambler.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-6632-904X,  
<sup>1</sup> Shakhty Automobile and Road Institute (branch)  
of M.I. Platov South-Russian State Polytechnic  
University (NPI), 346500, Shakhty, Russia.  
**Corresponding author:** M.S. Altunina, e-mail: mariyaltunina@mail.ru.

Получена редакцией 11.01.2023; получена после рецензии 10.07.2023; принята к печати 10.12.2023.  
Received by the editors 11.01.2023; received after the review 10.07.2023; accepted for printing 10.12.2023.

