

Научная статья

УДК 622.619.7

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-58-65

Носенко Алексей Станиславович, Домницкий Алексей Александрович,
Шемшура Елена Анатольевна, Носенко Виктория Владимировна, Кирсанов Иван Анатольевич

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Шахтинский автодорожный институт (филиал)

E-mail: asnosenko@mail.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ БУНКЕР-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ С ГРАВИТАЦИОННОЙ ЗАГРУЗКОЙ МАТЕРИАЛА



Информация о статье

Поступила:

08 декабря 2022 г.

Одобрена после
рецензирования:

01 февраля 2023 г.

Принята к печати:

15 февраля 2023 г.

Опубликована:

09 марта 2023 г.

Ключевые слова:

бункер-перегрузатель, гравитационная загрузка, экспериментальные исследования, статистическая обработка данных.

Аннотация.

Проведен анализ новых технических решений проходческих бункер-перегрузателей, принцип действия которых основан на использовании гидропривода поступательного действия и горизонтальной разгрузки. Предложены новые технические решения, в основу которых положены принципы использования гравитационной загрузки совместно с транспортирующим элементом, приводимым в движение силовыми гидроцилиндрами. Произведены работы по теоретическому изучению поведения сыпучего материала при его гравитационной загрузке в желоб бункер-перегрузателя. Установлены основные закономерности поведения сыпучего материала, получены качественные и количественные зависимости для определения фактического объема материала от угла наклона, вида материала, характеризующегося углом естественного откоса, углом трения по поверхности желоба, углом внутреннего трения.

С целью проверки адекватности и уточнения полученных ранее теоретических зависимостей и математической модели, описывающей работу бункер-перегрузателей с гравитационной загрузкой, проведен комплекс исследований на экспериментальной модельной установке. Приведена методика проведения экспериментальных исследований и результаты статистической обработки полученных результатов. Сопоставление гистограмм, построенных по результатам экспериментов с теоретическими кривыми распределения, позволило предположить, что случайные значения массы погружаемого материала подчиняются нормальному закону распределения. Определена степень соответствия теоретического распределения данным эксперимента (проверка гипотезы о нормальном законе распределения). В результате проведенных статистических расчетов с учетом результатов экспериментов получено уравнение теоретической зависимости, соответствующее экспериментальной кривой.

Для цитирования: Носенко А.С., Домницкий А.А., Шемшура Е.А., Носенко В.В., Кирсанов И.А. Экспериментальные исследования работы бункер-перегрузателей с гравитационной загрузкой материала // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 1 (165). С. 58-65. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-58-65

В Шахтинском автодорожном институте (филиале) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова с целью реализации непрерывной комбайновой поточной технологии проведения горных выработок проводятся работы, направленные на создание проходческих бункер-перегрузателей [1-2]. Разработаны и защищены охранными документами Российской Федерации оригинальные технические решения бункер-перегрузателей на основе применения гидропри-

вода поступательного действия и горизонтальной разгрузки.

Предложенные технические решения позволяют обеспечить бесперебойную работу горнопроходческого комбайна в период обмена автомобилей, а затем осуществлять их загрузку за минимальный промежуток времени. При проверке работоспособности предложенных конструкций на эксперимен-

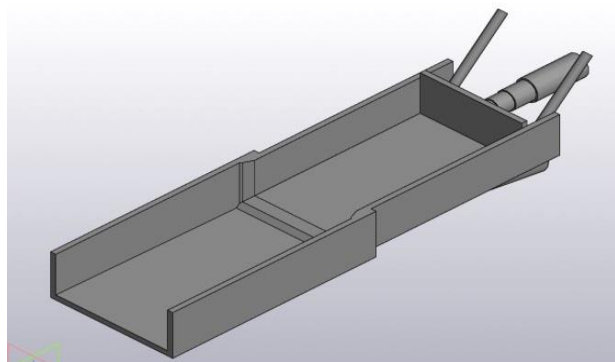


Рис. 1. Бункер-перегрузочатель с гравитационной загрузкой и секционным подвижным днищем
 Fig. 1. Hopper-loader with gravitational loading and sectional movable bottom

Таблица 1. Значения и пределы изменения параметров модельной установки

Table 1. Values and limits of variation of the parameters of the model installation

φ , град.	φ_0 , град.	μ_{mp}	L, м.	B, м.	h, м	ρ , кг/м ³	d_{cp} , м
0; 10; 20; 30; 45	40	0,3	1	0,25	0,15	1200	0,05

тальных образцах [3] было выявлено несколько серьезных проблем, главные из которых:

- невозможность обеспечения полной загрузки желоба бункер-перегрузочателя без дополнительных маневровых операций;
- необходимость применения дорогостоящих многосекционных телескопических гидроцилиндров двухстороннего действия для обеспечения полной выгрузки материала.

Для устранения указанных недостатков предложено несколько новых технических решений, в основу которых положены принципы использования гравитационной загрузки совместно с секционным подвижным днищем [4].

На Рис. 1 представлен бункер-перегрузочатель, в конструкцию которого заложены все новые приведенные выше отличительные признаки.

Бункер-перегрузочатель выполнен из двух подвижных друг относительно друга секций, подвижной задней дной стенки (толкающая плита) и приводных гидроцилиндров. Перед загрузкой желоб бункер-перегрузочателя находится под некоторым углом к почве выработки. Горная масса от проходческого комбайна попадает в желоб и под действием собственного веса заполняет его (гравитационная загрузка), после чего перегружатель приводится в горизонтальное положение под разгрузку.

После подхода автомобиля процесс его загрузки осуществляется выдвиганием толкающей плиты и одновременным втягиванием одной секции желоба в другую, причем секционная разгрузка произво-

дится при помощи силового гидроцилиндра – подъема и опускания желоба. Использование совмещенной разгрузки позволяет использовать стандартные силовые гидроцилиндры, как телескопические, так и обычные двухстороннего действия.

Ранее разработана методика выбора параметров бункер-перегрузочателя с гидравлическим приводом транспортирующего элемента периодического действия при работе в горизонтальных выработках. К ним относятся допустимая длина конвейера L, ширина B, высота борта желоба h. Математическая модель и основные результаты экспериментального подтверждения адекватности подробно приведены в работе [3].

Авторским коллективом выполнены работы по теоретическому изучению поведения сыпучего материала при его гравитационной загрузке в желоб бункер-перегрузочателя. Установлены основные закономерности поведения сыпучего материала, получены качественные и количественные зависимости для определения фактического объема материала от угла наклона φ , вида материала, характеризующегося углом естественного откоса φ_0 , углом трения по поверхности желоба μ_{mp} , углом внутреннего трения ρ_0 [5]. Здесь же приведена подробная математическая модель для определения влияния указанных параметров на формирование фактического объема материала в желобе в виде алгоритма расчета и блок-схемы.

С целью проверки адекватности и уточнения полученных теоретических зависимостей и математической модели, описывающей работу бункер-перегрузочателей с гравитационной загрузкой, проведен комплекс исследований на экспериментальной модельной установке, подробное описание которой приведено в работе [3].

В качестве искомой функции, адекватность которой необходимо подтвердить или опровергнуть, принята зависимость объема V (массы G) погружаемого материала, попавшего в желоб бункер-перегрузочателя от угла его наклона к почве выработки φ при его гравитационной загрузке:

$$V = f(\varphi).$$

В эксперименте применен метод исследования влияния угла наклона бункер-перегрузочателя при постоянных значениях остальных так называемых базовых параметров. При этом значение угла естественного откоса φ_0 принимается в зависимости от вида транспортируемого материала, характеризуемого плотностью ρ .

Постоянные и переменные параметры модельной установки, их значения и пределы изменения приведены в Табл. 1.

Фактически экспериментальные исследования посвящены изучению влияния угла наклона желоба бункер-перегрузочателя к почве выработки φ на объем его заполнения V. Теоретически объем материала в желобе также будет зависеть от вида погружаемого материала (φ_0, ρ), его гранулометрического состава (d_{cp}). Однако на данном этапе исследований названные характеристики принимаются постоянными.

Методика проведения экспериментальных исследований заключается в следующем.



$\varphi=0$ $G=10,15$ кг



$\varphi=20$ $G=19$ кг



$\varphi=30$ $G=28,3$ кг



$\varphi=45$ $G=14$ кг

Рис. 2. Расположение сыпучего материала в желобе при различных углах наклона

Fig. 2. Location of bulk material in the chute at different angles of inclination

1. Желоб устанавливается под углом к поверхности φ согласно программе эксперимента (Табл. 1).
2. Производится его гравитационная загрузка сыпучим материалом, имитирующая работу проходческой машины.
3. После достижения штабеля высоты, равной ($h + d_{cp}$), процесс останавливается.
4. Производится фотофиксация материала в желобе с последующим его взвешиванием.
5. опыты проводятся сериями. В каждой серии предусмотрено не менее шести замеров. Обоснование достаточности такого количества опытов в се-

рии подробно приведено в работе [3].

6. Затем меняется угол наклона бункера и опыты повторяются.

На Рис. 2 приведены фотографии, сделанные на различных этапах проведения экспериментальных исследований.

Статистическая обработка полученных результатов заключается в следующем.

1. Определение закона распределения случайной величины массы материала

Определение закона распределения случайной величины массы погружаемого материала связано с решением двух главных задач математической статистики – оценки неизвестных параметров выборки и проверки статистических гипотез.

Обработка результатов эксперимента позволяет вычислить числовые характеристики эмпирического распределения (выборки), называемые статистическими оценками (эмпирическими или выборочными характеристиками), которые аналогичны числовым характеристикам случайной величины (СВ): математическое ожидание, дисперсия, начальные и центральные моменты различных порядков. Каждой числовой характеристике СВ соответствует ее статистическая аналогия.

Аналогией математического ожидания m_x случайной величины X , является его статистическая оценка m'_x , представляющая собой среднее арифметическое (статистическое среднее) значение полученных в результате испытаний реализаций СВ:

$$m'_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

где n – число реализаций (объем выборки) случайной величины; X_i – i -я реализация (значение) случайной величины X .

При неограниченном увеличении n статистическое среднее приближается (сходится по вероятности) к математическому ожиданию. С увеличением объема выборки n возрастает доверительная вероятность γ статистического среднего и снижается величина относительной ошибки δ .

Статистическая оценка дисперсии СВ может быть определена по формуле:

$$D'_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - m'_x)^2.$$

Считая объем выборки n достаточным, полученные эмпирические данные представляют в виде статистического ряда. Для этого весь диапазон значений случайной величины разбивают на интервалы, число которых в зависимости от объема выборки должно быть не менее 5-6 и не более 10-12.

Примерная величина интервала ΔI определяется по формуле:

$$\Delta I = \frac{X_{max} - X_{min}}{1 + 3,31 \sqrt{n}},$$

где X_{max} , X_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения исследуемой случайной величины; n – количество полученных реализаций случайной величины (объем выборки).

Число интервалов k группирования случайной величины находится из выражения:

$$k = \frac{X_{max} - X_{min}}{\Delta I}.$$

Интервалы имеют при этом одинаковую длину. Число значений n_i случайной величины X в каждом

Таблица 2. Условия испытаний и результаты эксперимента

Table 2. Test conditions and experimental results

Показатель	Параметр				
Длина желоба, м	1				
Ширина желоба, м	0,25				
Высота желоба, м	0,15				
Угол наклона, °	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

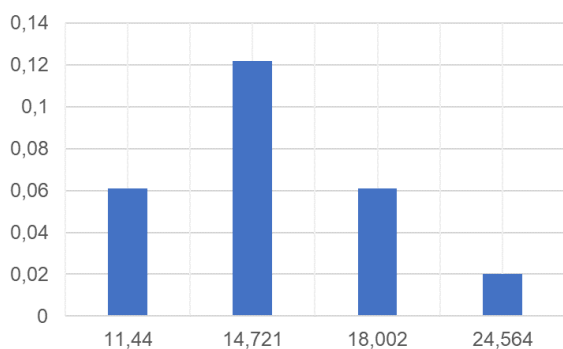


Рис. 3. Эмпирическая плотность распределения случайной величины массы погружаемого материала
Fig. 3. Empirical distribution density of a random variable of the mass of the loaded material

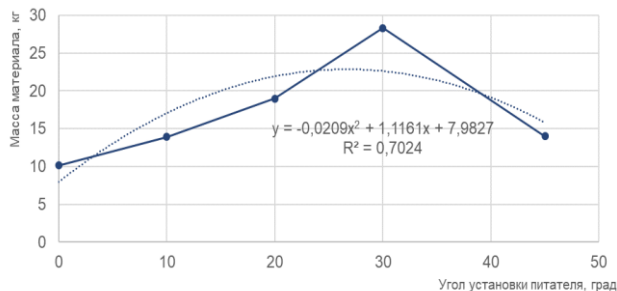


Рис. 4. Графическое представление зависимости эмпирических данных и кривой зависимости массы материала от угла наклона питателя
Fig. 4. Graphical representation of the dependence of empirical data and the curve of dependence of the material mass on the angle of the feeder inclination

интервале должно быть не менее 5.

После проведения обработки статистической информации, полученной в результате эксперимента, условия и результаты которого приведены в Статистическое среднее математическое ожидание $m_x' = 16,69$ кг, статистическая средняя дисперсия $D_x' = 19,81$.

Таблице 2, получены следующие результаты.

Статистические среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации СВ рассчитаются по формулам:

$$\sigma_x' = \sqrt{D_x'}$$

$$v_x' = \frac{\sigma_x'}{m_x}$$

Соответственно получаем:

- статистическое среднее квадратическое отклонение $\sigma_x' = 4,45$;

- коэффициент вариации $v_x' = 0,266667$.

Величина коэффициента вариации находится в пределах от 0 до 0,33, что характерно для нормального закона распределения.

Для наглядного представления об эмпирическом распределении строится гистограмма (ступенчатая диаграмма) эмпирической плотности распределения случайной величины (Рис. 3).

По оси абсцисс откладываются интервалы (разряды) ΔI случайной величины, и на каждом из интервалов строится прямоугольник с площадью, равной частоте появления случайной величины в данном интервале.

Высоты прямоугольников пропорциональны соответствующим частотам и равны эмпирической плотности вероятности $n_i/(n \cdot \Delta I)$ для каждого интервала.

Если вид теоретической функции распределения СВ заранее не известен, то внешний вид гистограммы может служить основой для подбора той или иной теоретической дифференциальной функции распределения (плотности распределения), описывающей полученное эмпирическое распределение.

Сопоставив гистограмму (Рис. 3) с теоретическими кривыми распределения, можно предположить, что случайные значения массы погружаемого материала X_i подчиняются нормальному закону распределения.

2. Определение степени соответствия теоретического распределения данным эксперимента (проверка гипотезы о нормальном законе распределения)

При подборе теоретической кривой распределения между нею и статистическим распределением неизбежны некоторые расхождения. При этом необходимо знать, объясняются эти расхождения только случайными обстоятельствами, связанными с ограниченным числом опытных данных, или они являются существенными и связаны с тем, что подобранная кривая плохо выравнивает данное статистическое распределение.

Степень соответствия между выдвинутой гипотезой со статистическим материалом устанавливается с помощью критериев согласия.

В работе проверим гипотезу о том, что X распределено по нормальному закону с помощью критерия согласия Пирсона.

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

где k – число интервалов группирования случайной величины; n_i – число значений случайной величины в i -м интервале; n – общее число полученных значений случайной величины; p – теоретическая ве-

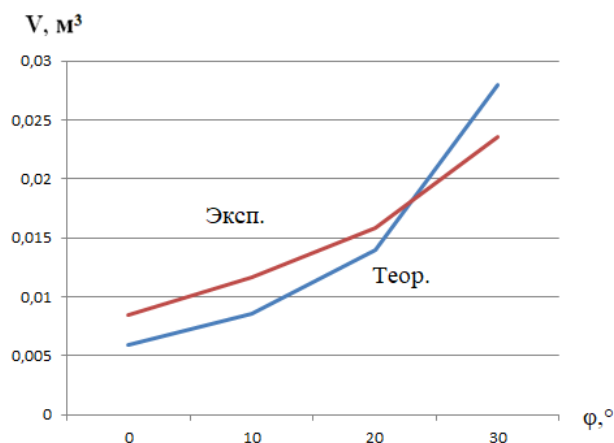


Рис. 5. Зависимость объема материала в желобе бункер-перегрузателя при инерционной загрузке от угла его наклона

Fig. 5. The dependence of the volume of material in the chute of the bunker-loader with inertial loading on the angle of its inclination

роятность попадания случайной величины в i -й интервал.

В результате проведенных расчетов установлено, что экспериментальное значение статистики Пирсона $K_{\text{эксп}} = 3,59$ не попадает в критическую область: $K_{\text{эксп}} < K_{\text{кр}}$, поэтому нет основания отвергать основную гипотезу о том, что данные выборки распределены по нормальному закону. Экспериментальные данные не противоречат принятому теоретическому закону распределения случайной величины.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные в результате эксперимента данные являются репрезентативной выборкой, и характер их параметров будет соответствовать генеральной совокупности. К выборке экспериментальных данных применимы методы математической статистики (например, метод наименьших квадратов).

3. Определение влияния угла наклона перегружателя на объем материала в желобе при инерционной загрузке.

Величина производительности (массы погружаемого материала) и угла наклона бункер-перегрузателя связаны функциональной или корреляционной зависимостью: $m = f(\alpha)$. На основании полученных опытных данных определим вид этой зависимости.

Общепринятым при решении подобных задач является так называемый *метод наименьших квадратов*, при котором требование наилучшего согласования теоретической кривой $m = f(\alpha)$ и экспериментальных точек сводится к тому, чтобы сумма квадратов отклонений экспериментальных точек от сглаживающей кривой оказалась минимальной.

Применим данный метод для вывода корреляционных уравнений массы погружаемого материала от угла наклона питателя.

На первоначальном этапе обработки данных эксперимента высказано предположение, что преобладающим видом зависимости производительности

сти перегружателя от угла наклона питателя является квадратическая зависимость.

Эмпирическую формулу в этом случае необходимо искать в виде параболы второго порядка:

$$y = ax^2 + bx + c. \text{ нужно записать так:}$$

$$m = a \cdot \alpha_i^2 + b \cdot \alpha_i + c.$$

Сумма квадратов отклонений для нее имеет вид:

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax^2 + bx + c)]^2.$$

После проведения расчетов с учетом результатов экспериментов (Табл. 2) получено уравнение теоретической зависимости, соответствующее экспериментальной кривой (Рис. 4).

Основной целью проведения комплекса экспериментальных исследований на модельной установке является проверка адекватности математической модели определения объема материала в желобе бункер-перегрузателя при его гравитационной загрузке, разработанной ранее [5]. Результаты расчетов, полученные для условий, соответствующих условиям проведения экспериментов (Табл. 1), приведены на Рис. 5.

На графиках наблюдается совпадение качественной картины изменения искомой зависимости с отклонением экспериментальных и теоретических данных не более 25%, что в целом можно считать удовлетворительным результатом. Однако при проведении дальнейших исследований, планируется уточнение математической модели путем введения соответствующих коэффициентов, учитывающих экспериментально полученные данные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хазанович Г. Ш. Актуальные направления научных исследований горнопроходческого оборудования // Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 2. С. 41–45.
2. Хазанович Г. Ш., Воронова Э. Ю. Параметрическая оптимизация агрегатированных проходческих систем: общие методические подходы // Наука. Технологии. Производство. 2015. № 1(5). С. 88–93.
3. 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. М. : Изд-во «Горная книга», 2019. № 11. С. 119–130.
4. Носенко А. С., Домницкий А. А., Хазанович В. Г., Носенко В. В., Зубов В. В., Кирсанов И. А. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов / Патент RU2749972C1 МПК В65G11/02 В65G11/12 В65G11/20, патентообладатель Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова - № 2020138238,; заявл. 20.11.20; опубл. 21.06.2021, Бюл. № 18.
5. Носенко А. С., Домницкий А. А., Носенко В. В., Кирсанов И. А. Теоретические исследования работы бункер-перегрузателей с гравитационной загрузкой материала // Горное оборудо-

вание и электромеханика. 2022. №3 (161). С. 23-30. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-23-30

6. Rostami J., Chang S. H. A Closer Look at the Design of Cutterheads for Hard Rock Tunnel-Boring Machines // Engineering. 2017. Vol. 3, no 6, pp. 892–904. DOI: 10.1016/j.eng.2017.12.009.

7. Han M. D., Cai Z. X., Qu C. Y., Jin L. S. Dynamic numerical simulation of cutterhead loads in TBM tunnelling // Tunnelling and Underground Space Technology. 2017. Vol. 70. Pp. 286–298. DOI: 10.1016/j.tust.2017.08.028.

8. Roby J., Willis D. Achieving fast EPB advance in mixed ground. A study of contributing factors // Proc. North American Tunneling, 2014, pp. 182–194.

9. Tumac D., Balci C. Investigations into the cutting characteristics of CCS type disc cutters and the comparison between experimental, theoretical and empirical force estimations // Tunnelling and Underground Space Technology. 2015. Vol. 45. Pp. 84–98. DOI:10.1016/j.tust.2014.09.009

10. Huo J., Hanyang W., Jing Y., Wei S., Guangqing L., Xiaolong S. Multi-directional coupling dynamic characteristics analysis of TBM cutterhead system based on tunnelling field test // Journal of mechanical science and technology. 2015. Vol. 29. №8/ Pp. 3043–3058. DOI: 10.1007/s12206-015-0701-1.

11. Бояркина И. В. Технологическая механика одноковшовых фронтальных погрузчиков: монография. Омск : СибАДИ, 2011. 336 с.

12. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А., Линник Ю. Н. Основы проектирования исполни-

тельных органов тоннелепроходческих машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 6. С. 156–164. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-156-164.

13. Сильня В. Г., Хазанович Г. Ш. Выбор оптимальных параметров ковшовых погрузочных машин с использованием ЭЦВМ // Шахтный и карьерный транспорт. М. : Недра, 1980. Вып. 6. С. 194–202.

14. Отроков А. В. Моделирование грузопотока клиновой погрузочной машины при работе под завалом горной массы // Моделирование. Теория, методы и средства: мат. межд. науч.-практ. конф. (г. Новочеркасск). Новочеркасск : УПЦ «Набла», ЮРГТУ (НПИ), 2001. Ч.4. С.20-22.

15. Остановский А. А. Разработка и выбор параметров клинового перегружателя возвратно-поступательного действия // Механизация и электрификация горных работ. Материалы XXXV науч.-техн. конф. Шахтинского ин-та НГТУ. Апрель, 1996 г. / Новочерк. гос. техн. ун-т, Новочеркасск : НГТУ, 1996. С.44-48.

16. Хазанович Г. Ш., Ляшенко И. В., Ляшенко Ю. М., Никитин Е. В., Остановский А. А., Чирков В. Н. Проходческие перегружатели с клиновыми рабочими элементами и гидроприводом поступательного действия // Новочерк. гос. техн. ун-т. Новочеркасск, 1995. 87 с. Деп. в ВИНТИ 07.06.95, № 1688-В95.

© 2023 Автор. 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:

Носенко Алексей Станиславович, доктор техн. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», Шахтинский автодорожный институт (филиал), (346500, Ростовская обл., г. Шахты, пл. Ленина, 1.), asnosenko@mail.ru

Домницкий Алексей Александрович, доктор техн. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», Шахтинский автодорожный институт (филиал), (346500, Ростовская обл., г. Шахты, пл. Ленина, 1.)

Шемшура Елена Анатольевна, кандидат техн. наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», Шахтинский автодорожный институт (филиал), (346500, Ростовская обл., г. Шахты, пл. Ленина, 1.)

Носенко Виктория Владимировна, кандидат техн. наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», Шахтинский автодорожный институт (филиал), (346500, Ростовская обл., г. Шахты, пл. Ленина, 1.)

Кирсанов Иван Анатольевич, аспирант. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», Шахтинский автодорожный институт (филиал), (346500, Ростовская обл., г. Шахты, пл. Ленина, 1.)

Заявленный вклад авторов:

Носенко А.С. – генерация идеи исследования, постановка задачи исследования.

Домницкий А.А. – выполнение работы по систематизации материала.

Шемшура Е.А. – анализ результатов исследования и подготовка данных.

Носенко В.В. – написание текста статьи.

Кирсанов И.А. – выполнение графической части исследования.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-58-65

Alexey S. Nosenko, Alexey A. Domnitsky, Elena A. Shemshura, Victoria V. Nosenko, Ivan A. Kirsanov

South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, Shakhty Road Institute (branch)

E-mail: asnosenko@mail.ru

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE OPERATION OF HOPPER LOADERS WITH GRAVITY LOADING OF MATERIAL



Article info

Received:

08 December 2022

Accepted for publication:

01 February 2023

Accepted:

15 February 2023

Published:

09 March 2023

Keywords: hopper loader, gravity loading, experimental studies, statistical data processing.

Abstract.

The analysis of new technical solutions of tunneling hopper loaders, the principle of operation of which is based on the use of a translational hydraulic drive and horizontal unloading, is carried out. New technical solutions are proposed, which are based on the principles of using a gravitational load in conjunction with a transport element driven by power hydraulic cylinders. Works have been carried out on the theoretical study of the behavior of bulk material during its gravitational loading into the chute of a bunker-loader. The basic regularities of the behavior of bulk material are established, qualitative and quantitative dependences are obtained to determine the actual volume of material on the angle of inclination, the type of material characterized by the angle of repose, the angle of friction along the surface of the gutter, the angle of internal friction.

In order to verify the adequacy and clarify the theoretical dependencies obtained earlier and the mathematical model describing the operation of hopper loaders with gravity loading, a set of studies was carried out on an experimental model installation. The method of conducting experimental studies and the results of statistical processing of the obtained results are presented. Comparison of the histograms constructed according to the results of experiments with theoretical distribution curves allowed us to assume that random values of the mass of the loaded material follow the normal distribution law. The degree of correspondence of the theoretical distribution to the experimental data is determined (testing the hypothesis of the normal distribution law). As a result of statistical calculations, taking into account the experimental results, the equation of theoretical dependence corresponding to the experimental curve is obtained.

For citation: Nosenko A.S., Domnitsky A.A., Shemshura E.A., Nosenko V.V., Kirsanov I.A. Experimental studies of the operation of hopper loaders with gravity loading of material. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2023; 1(165):58-65 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-1-58-65

REFERENCES

1. Khazanovich G.S. Actual directions of scientific research of mining equipment. *Mining equipment and electromechanics*. 2018; 2:41–45.

2. Khazanovich G.S., Voronova E.Y. Parametric optimization of aggregated tunneling systems: general methodological approaches. *Nauka. Technologies. Production*. 2015; 1(5):88–93.

3. Nosenko A.S., Domnitsky A.A., Altunina M.S., Zubov V.V. The results of theoretical and experimental studies of a hopper loader with a hydraulic drive of a transporting element of periodic action. *Mining information and analytical bulletin*. Moscow: Publishing House "Mining Book"; 2019; 11:119–130.

4. Nosenko A.S., Domnitsky A.A., Khazanovich V.G., Nosenko V.V., Zubov V.V., Kirsanov I.A. Conveyor for transportation of bulk and lumpy materials. Patent RU2749972C1 IPC B65G11/02 B65G11/12 B65G11/20, patent holder South-Russian State Polytechnic University. M.I. Platov Un-t (NPI) - No. 2020138238; application 20.11.20; publ. 21.06.2021, Bul. No. 18.

5. Nosenko A.S., Domnitsky A.A., Nosenko V.V., Kirsanov I.A. Theoretical studies of the operation of hopper loaders with gravity loading of material. *Mining equipment and electromechanics*. 2022; 3(161):23–30. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-23-30

6. Rostami J., Chang S.H. A Closer Look at the Design of Cutterheads for Hard Rock Tunnel-Boring Machines. *Engineering*. 2017; 3(6):892–904. DOI: 10.1016/j.eng.2017.12.009.

7. Han M.D., Cai Z.X., Qu C.Y., Jin L.S. Dynamic numerical simulation of cutterhead loads in TBM tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017; 70:286–298. DOI: 10.1016/j.tust.2017.08.028.

8. Roby J., Willis D. Achieving fast EPB advance in mixed ground. A study of contributing factors // *Proc. North American Tunneling*. 2014:182–194.

9. Tumac D., Balci C. Investigations into the cutting characteristics of CCS type disc cutters and the comparison between experimental, theoretical and empirical force estimations. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2015; 45:84–98. DOI:10.1016/j.tust.2014.09.009

10. Huo J., Hanyang W., Jing Y., Wei S., Guangqing L., Xiaolong S. Multi-directional coupling dynamic characteristics analysis of TBM cutterhead system based on tunnelling field test. *Journal of mechanical science and technology*. 2015; 29(8):3043–3058. DOI: 10.1007/s12206-015-0701-1.

11. Boyarkina I.V. Technological mechanics of single-bucket front loaders: monograph. Omsk: SibADI; 2011. 336 p.

12. Zhabin A.B., Polyakov A.V., Averin E.A., Linnik Yu.N. Fundamentals of designing the executive bodies of tunnel boring machines. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019; 6:156–164. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-156-164.

13. Silnya V.G., Khazanovich G.Sh. Choice of optimal parameters of bucket loaders with the use of digital computers. *Mine and career transport*. M.: Nedra; 1980; 6:194-202.

14. Otrokov A.V. Modeling of the cargo flow of a wedge loader when working under a blockage of rock mass. *Modeling. Theory, methods and means: mat. int. scientific-practical. conf. (Novocherkassk)*. Novocherkassk: UOC "Nabla", SRSTU (NPI); 2001; 4:20–22.

15. Ostanovsky A.A. Development and selection of parameters for a reciprocating wedge loader. *Mechanization and electrification of mining operations. Materials XXXV scientific and technical. conf. Shakhtinsky in-ta NSTU. April, 1996.* / Novocherk. state tech. un-t, Novocherkassk: NGTU; 1996. Pp. 44–48.

16. Khazanovich G.Sh., Lyashenko I.V., Lyashenko Yu.M., Nikitin E.V., Ostanovsky A.A., Chirkov V.N. Tunneling loaders with wedge working elements and progressive hydraulic drive. Novocherkassk: Novocherk. state tech. un-t; 1995. 87 p. Dep. in VINITI 07.06.95, No. 1688-B95.

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

The author declare no conflict of interest.

About the author:

Nosenko, Alexey Stanislavovich, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov", Shakhty Road Institute (branch), (346500, Rostov region, Shakhty, Lenin Square, 1), asnosenko@mail.ru

Domnitsky, Alexey Alexandrovich, Dr. Sc. in Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov", Shakhty Road Institute (branch), (346500, Rostov region, Shakhty, Lenin Square, 1)

Shemshura, Elena Anatolyevna, C. Sc. in Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov", Shakhty Road Institute (branch), (346500, Rostov region, Shakhty, Lenin Square, 1)

Nosenko, Victoria Vladimirovna, C. Sc. in Engineering, associate professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov", Shakhty Road Institute (branch), (346500, Rostov region, Shakhty, Lenin Square, 1)

Kirsanov, Ivan Anatolyevich, postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov", Shakhty Road Institute (branch), (346500, Rostov region, Shakhty, Lenin Square, 1)

Contribution of the authors:

Nosenko A.S. – generation of research ideas, setting the research problem.

Domnitsky A.A. - work on the systematization of the material.

Shemshura E.A. – analysis of research results and data preparation.

Nosenko V.V. - writing the text of the article.

Kirsanov I.A. – execution of the graphic part of the study.

Author have read and approved the final manuscript.

