

Научная статья

УДК 622.619.7

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-23-30

Носенко Алексей Станиславович, доктор техн. наук, профессор, **Домницкий Алексей Александрович**, доктор техн. наук, **Носенко Виктория Владимировна**, кандидат техн. наук, доцент, **Кирсанов Иван Анатольевич**, аспирант

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

E-mail: asnosenko@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ БУНКЕР-ПЕРЕГРУЖАТЕЛЕЙ С ГРАВИТАЦИОННОЙ ЗАГРУЗКОЙ МАТЕРИАЛА

Аннотация.

Рассмотрены технические решения проходческих бункер-перегрузателей, разработанные на основе применения гидропривода поступательного действия и горизонтальной разгрузки разрушенной горной массы. Для решения проблемы загрузки бункер-перегрузателей из неподвижного состояния горнопроходческой машины предложены конструкции с изменяемым углом наклона желоба, обеспечивающим его гравитационную загрузку. Сформулирована цель, и выполнено математическое моделирование процесса заполнения желоба перегружателя сыпучим материалом. Определены переменные факторы, влияющие на процесс загрузки. Обоснован метод определения максимально возможного и фактического объемов сыпучего материала в желобе бункер-перегрузателя при гравитационной загрузке с целью разработки инженерной методики выбора его рациональных параметров.

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 $\mu_{тр}$, углом внутреннего трения ρ_0 . Конечная математическая модель для определения указанных показателей представлена системой уравнений в виде алгоритма расчета.

Изучена физическая картина поведения сыпучего материала при осуществлении гравитационной загрузки бункер-перегрузателя. Проведенные расчеты позволили установить рациональные значения угла наклона желоба перегружателя к почве выработки, при которых достигается максимальный объем материала в желобе перегружателя.

**Информация о статье**

Поступила:

13 января 2022 г.

Одобрена после
рецензирования:

14 мая 2022 г.

Принята к печати:

22 июня 2022 г.

Ключевые слова:

бункер-перегрузатель, гравитационная загрузка, заполнения желоба, рациональный угол наклона.

Для цитирования: Носенко А.С., Домницкий А.А., Носенко В.В., Кирсанов И.А. Теоретические исследования работы бункер-перегрузателей с гравитационной загрузкой материала // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3 (161). С. 23-30. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-23-30

В рамках совершенствования и обоснования эффективности комбайновой технологии проведения горных выработок различного назначения с применением автомобильного транспорта [1-4] в ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова ведутся работы по разработке и созданию конструкций проходческих бункер-перегрузателей на основе применения гидропривода поступательного действия и горизонтальной разгрузки разрушенной горной массы [5-7].

Предложены и защищены охраняемыми документами РФ оригинальные технические решения бункер-перегрузателей, в том числе:

- с изменяемой геометрией транспортирующих элементов (патент RU 2664616 МПК B65G25/08);
- с изменяемым углом наклона желоба к почве выработки (патент RU 2749972 МПК B65G11/02);
- с секционным днищем (патент RU2724041, МПК B65G 25/08);
- с автоматическим контролем заполнения бун-

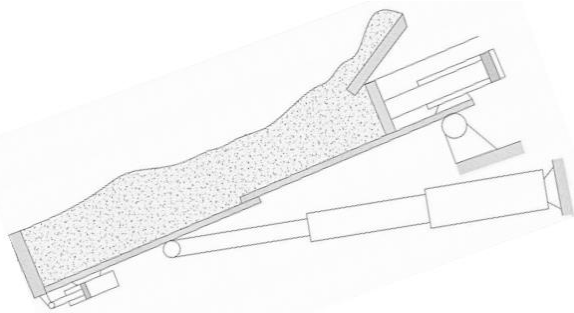


Рис. 1. Бункер-перегрузатель с гравитационной загрузкой
Fig. 1. Hopper-loader with gravity loading

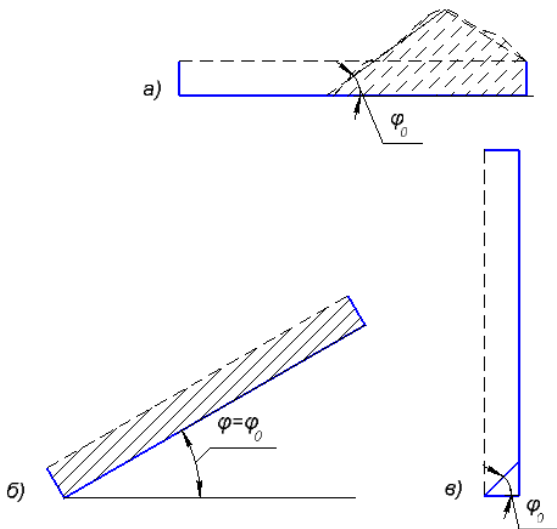


Рис. 2. Заполнение желоба бункер-перегрузателя сыпучим материалом при характерных углах наклона
Fig. 2. Filling the chute of the hopper-loader with bulk material at characteristic angles of inclination

кера материалом (патент RU 2702211 МПК B65G11/02).

Проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по изучению процессов взаимодействия сыпучего материала с транспортирующим элементом, математическому моделированию его работы, обоснованию основных положений методики выбора рациональных параметров [8]. Однако полученные результаты имеют ограниченную область применения и справедливы в отношении перегружателей с горизонтальным расположением в выработке при наличии принудительной загрузки.

На практике осуществление последней весьма затруднительно, т.к. требует применения дополнительных устройств – скребковых или клиновых транспортирующих элементов, шнеков и др., что ведет к значительному усложнению конструкции, снижению ее надежности [9-15].

Именно для решения этой проблемы предложены технические решения перегружателей с изменяемым углом наклона желоба, обеспечивающим гравитационную загрузку. Один из вариантов такой

конструктивно-кинематической схемы бункер-перегрузателя приведен на рис.1.

Дальнейшие рассуждения посвящены обоснованию метода определения фактического объема сыпучего материала в желобе бункер-перегрузателя при гравитационной загрузке с последующим моделированием его работы с целью разработки инженерной методики выбора его рациональных параметров.

Теоретически угол наклона перегружателя φ может изменяться в диапазоне от 0 до 90°. Рассмотрим распределение сыпучего материала в желобе перегружателя при свободном попадании его в желоб от горнопроходческой машины. При горизонтальном расположении перегружателя или при расположении его под углом, не превышающим угол трения материала по желобу, т.е. когда он находится в пределах $0 \leq \varphi \leq \mu_{mp}$, штабель материала формируется в зоне разгрузки конвейера горнопроходческой машины под углом естественного откоса φ_0 .

Заполнение желоба материалом в этом случае схематично представлено на рис. 2,а.

Максимальный объем материала определяется только высотой конуса, которая определяется углом естественного откоса φ_0 , шириной желоба перегружателя B и расположением точки разгрузки материала.

При расположении перегружателя под углом наклона, превышающим угол трения материала по желобу, т.е. когда $\varphi \geq \mu_{mp}$, физическая картина распределения сыпучего материала в желобе не меняется. Первая порция материала толщиной, равной среднему куску сыпучего материала, распределяется вдоль желоба перегружателя. Затем штабель материала формируется так же, как и в предыдущем случае. При этом он также располагается под углом естественного откоса к почве выработки φ_0 . Исходя из приведенных рассуждений, можно предположить, что при расположении перегружателя под углом наклона, равным углу естественного откоса $\varphi = \varphi_0$, материал полностью заполнит желоб бункер-перегрузателя, как показано на рис.2,б. С увеличением угла φ объем материала в желобе будет уменьшаться и достигнет минимума при $\varphi = 90^\circ$, (рис. 2,в).

Таким образом, с точки зрения достижения максимального объема транспортируемого сыпучего материала в желобе при инерционной загрузке представляет интерес область расположения перегружателя под углами наклона в диапазоне $\mu_{mp} \leq \varphi \leq \varphi_0$. Следует также отметить, что данные рассуждения справедливы для сыпучих кусковых материалов, у которых угол естественного откоса φ_0 можно считать равным углу внутреннего трения ρ_0 [8]. На рис. 3 приведена расчетная схема, соответствующая данному условию.

Цель моделирования – определение рационального угла наклона бункер-перегрузателя, при котором достигается максимальное значение объема сыпучего материала при гравитационной загрузке. Для достижения поставленной цели необходимо получить математическую модель, описывающую

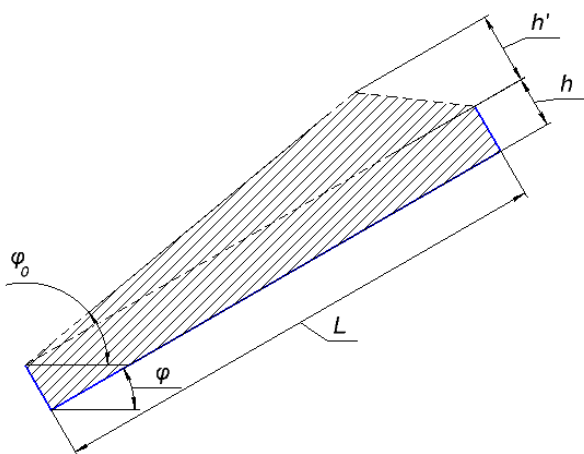


Рис. 3. Расчетная схема для определения максимального объема сыпучего материала в бункере-перегрузателе с гравитационной загрузкой

Fig. 3. Calculation scheme for determining the maximum volume of bulk material in the hopper-loader with gravity loading

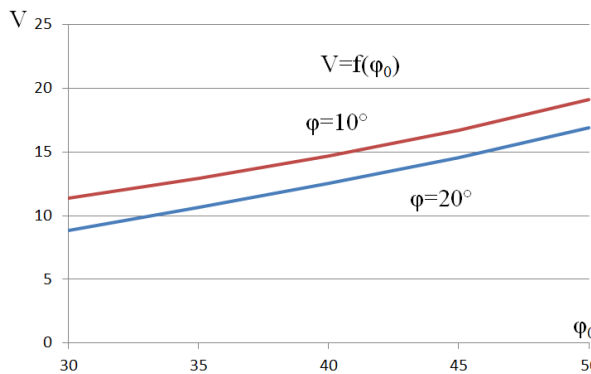
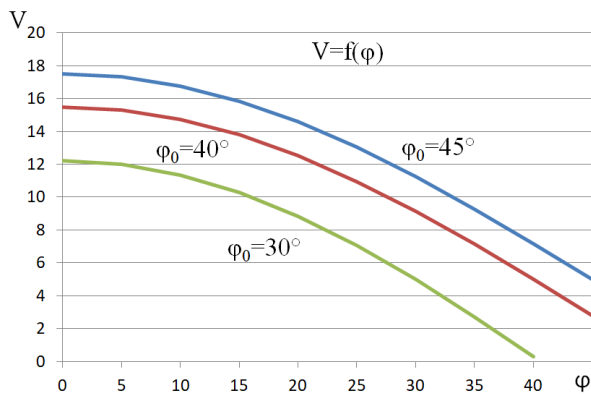


Рис. 4. Графики зависимости $V = f(\varphi)$ и $V = f(\varphi_0)$

Fig. 4. Dependence plots $V = f(\varphi)$ and $V = f(\varphi_0)$

поведение материала в желобе, в частности, определить площадь поперечного сечения материала по оси перегружателя. В начале расчетов рассмотрим этот процесс на идеальной модели с боковыми стенками бесконечной высоты. Как видно из расчетной схемы (рис. 3), максимальная интегральная площадь равна сумме двух фигур – прямоугольника ACDF и треугольника ABC.

На расчетной схеме приняты следующие обозначения: φ – угол наклона желоба перегружателя к почве выработки, φ_0 – угол естественного откоса сыпучего материала, L – длина перегружателя, B_n – ширина желоба перегружателя, h – высота борта желоба перегружателя, h' – превышение высоты штабеля над бортами перегружателя, V – объем материала в желобе, S – площадь поперечного сечения штабеля материала.

Используя тригонометрические зависимости, в результате получим

$$S_1 = \frac{1}{2} \times L^2 \times \left(\frac{\sin \alpha \times \sin \beta}{\sin \gamma} \right)$$

$$S_1 = \frac{\frac{1}{2} \times L^2 \times (\sin(\varphi_0 - \varphi) \times \sin(\varphi_0 + \varphi))}{\sin(180 - 2\varphi_0)}$$

$$S_2 = L \times h$$

$$S = S_1 + S_2$$

$$V = B_n \times (S_1 + S_2)$$

$$V = \frac{B_n \times \left(\frac{1}{2} \times L^2 \times (\sin(\varphi_0 - \varphi) \times \sin(\varphi_0 + \varphi)) \right)}{\sin(180 - 2\varphi_0)} + L \times h$$

Схема на рис. 3 соответствует максимально возможному заполнению желоба. Первоначальный расчет проводим для угла наклона перегружателя, соответствующего углу трения материала по желобу, т.е. $\varphi = \mu_{mp}$. Ниже в таблице 1 приведены переменные параметры и диапазон их изменения, принятые к исследованию.

Таблица 1. Переменные параметры

Угол наклона перегружателя к почве выработки, φ	Угол естественного откоса материала, φ_0
0 – 45 °	30 – 50 °

В качестве искомой функции принят максимальный объем материала в желобе, т.е.

$$V = f(\varphi) \text{ и } V = f(\varphi_0).$$

Значения базовых параметров: $\varphi = 20^\circ$, $\varphi_0 = 45^\circ$, $L = 5$ м., $B_n = 2$ м., $h = 0,5$ м.

Следует отметить, что в расчетах значения φ не должны превышать φ_0 .

В результате расчетов получены зависимости, представленные графически на рис. 4.

После определения площади проверяем значение превышения штабеля материала над бортами перегружателя h' по условию отсутствия пересыпания материала через борта, вытекающему из расчетной схемы (рис 5).

На рис. 5. представлено поперечное сечение желоба перегружателя, проходящее через наивысшую точку треугольника В.

Т.к. штабель сыпучего материала формируется под углом естественного откоса в форме конуса, максимально допустимое значение его превышения над бортами определяется по формуле:

$$h' = \frac{2 \times S_1}{L}$$

$$h' \leq 0,5 \times B_n \times \tan \varphi_0$$

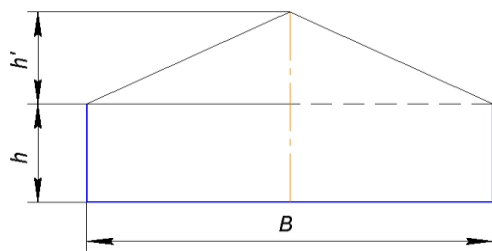


Рис. 5. Поперечное сечение желоба перегружателя

Fig. 5. Cross section of the feeder chute

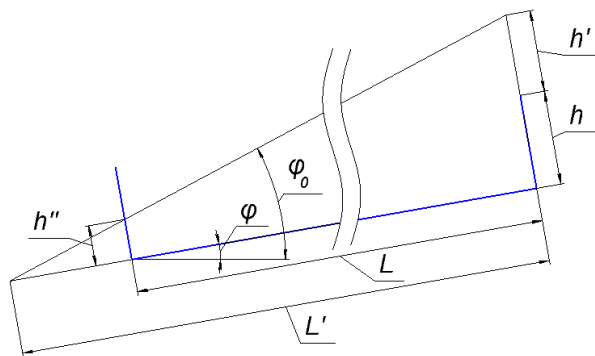


Рис. 6. Расчетная схема для определения фактического объема сыпучего материала в бункере-перегрузателе с гравитационной загрузкой

Fig. 6. Calculation scheme for determining the actual volume of bulk material in the hopper-loader with gravity loading

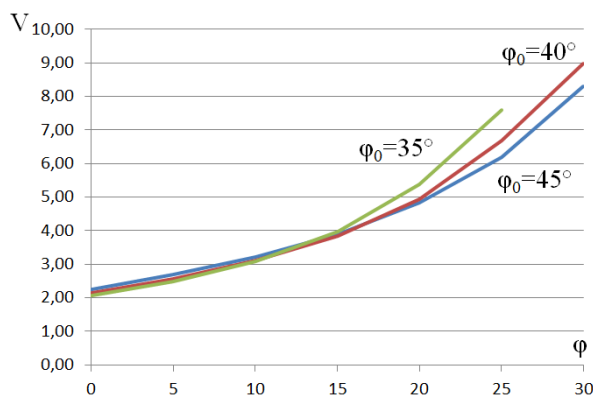


Рис. 7. Зависимость фактического объема материала в желобе бункер-перегрузателя от угла наклона

Fig. 7. Dependence of the actual volume of material in the chute of the bunker-loader on the angle of inclination

Если неравенство выполняется, принимаем заданный угол наклона перегружателя. Если нет, проводим перерасчет с увеличением угла φ .

Анализируя полученные результаты, можно заметить, что в зависимости от сочетания параметров точка разгрузки материала от проходческой машины меняет свое местоположение, начиная от центра желоба и заканчивая задним бортом бункера.

На практике можно считать что реально точка

разгрузки будет находиться в районе заднего борта. Рассмотрим этот вариант более подробно. Предположим, что задний борт имеет высоту, равную сумме $(h + h')$. Тогда расчетная схема принимает вид, представленный на рис. 6.

С учетом дополнительно введенных обозначений модель принимает следующий вид:

$$L^I = \frac{(h + h')}{\tan(\varphi_0 - \varphi)}$$

$$S^I = \frac{1}{2} \times \frac{(h + h')^2}{\tan(\varphi_0 - \varphi)}$$

Если $L^I \leq L$, принимаем $S = S^I$, если $L^I > L$, то проводим дальнейший расчет. Введем понятие высоты пересечения штабеля с нижним бортом перегружателя (на схеме обозначено h^{II}).

$$h^{II} = \frac{(L^I - L) \times (h + h')}{L^I}$$

Если $h^{II} > h$, то расчет прекращаем и производим изменение начальных параметров. В противном случае определяем фактическую площадь сечения материала в желобе.

$$S = S^I - S^{II}$$

$$S^{II} = \frac{1}{2} \times h^{II} \times (L^I - L)$$

$$S = \frac{1}{2} \times \frac{(h + h')^2}{\tan(\varphi_0 - \varphi)} - \frac{1}{2} \times h^{II} \times (L^I - L)$$

$$V = B_{\pi} \times S$$

При определении объема материала в желобе для упрощения расчетов не учитывается уменьшение объема материала, превышающего высоту бортов перегружателя (в «шапке») за счет его конусности.

Полученные зависимости легли в основу программы, написанной в приложении Mathcad, предназначенную для теоретических исследований влияния переменных параметров на формирования штабеля сыпучего материала в желобе бункер – перегружателя при гравитационной загрузке.

Результаты теоретических исследований представлены на рис. 7.

Выводы. Анализ результатов показывает, что максимальный объем горной массы в бункер-перегрузателе формируется при его горизонтальном расположении и при нахождении точки загрузки в центре желоба. Однако при смещении точки загрузки к заднему борту перегружателя значение максимального объема соответствует углу наклона перегружателя, определяемому из соотношения

$$\varphi = \varphi_0 - \left(\arctg \frac{h'}{L} \right)$$

Гипотеза о том, что формирование основного конуса материала, превышающего высоту заднего борта, происходит в задней части перегружателя, т.е. в зоне погрузки до определенного значения угла φ , находит свое подтверждение. Для этого проведены предварительные опыты по наблюдению за поведением штабеля сыпучего материала при формировании его в желобе перегружателя.

При достижении угла наклона перегружателя φ значения, которое становится больше угла трения μ_{mp} , некоторый объем материала перемещается по днищу и размещается на нем с толщиной в пределах среднего размера куска d_{cp} . С повышением размера конуса материала имеет место смещение его вдоль желоба к переднему борту и пересыпание через боковые борта, что объясняется нарушением внутренних связей и наличием инерционной составляющей. При размещении перегружателя под углом наклона $\varphi = \varphi_0$ поведение штабеля меняется. Материал сразу поступает к переднему борту и формирование конуса под углом φ_0 начинается в нижней части желоба. Анализируя вышесказанное, можно предположить, что максимальное значение объема материала в желобе будет соответствовать углу наклона перегружателя, близком к φ_0 .

Таким образом, разработанная математическая модель гравитационной загрузки бункер-перегружателя позволяет определять фактический объем материала в желобе при различных сочетаниях переменных параметров. В дальнейшем планируется проведение комплекса экспериментальных исследований на модельной установке для подтверждения адекватности математических моделей реальному процессу погрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жабин А. Б., Поляков А. В., Аверин Е. А. Краткий анализ проблем и путей решения при обеспечении горнодобывающего предприятия современными техническими средствами ведения горных работ // Уголь. 2018. № 1. С.27–30.
2. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Бегляков В. Ю. Концепция создания перспективного технологического уклада формирования (освоения) подземного пространства на базе опережающего развития новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике. Часть 1. Предпосылки и основные положения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 4 (128). С. 105-114.
3. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Бегляков В. Ю. Концепция создания перспективного технологического уклада формирования (освоения) подземного пространства на базе опережающего развития новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике. Часть 2 // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 5 (129). С.43-52.
4. Варганов М. В., Мнацаканян В. У. Оценка технологичности горных машин: алгоритмическое и программное обеспечение // Горный журнал. 2018. № 1. С. 68-72.
5. Хазанович Г. Ш., Носенко А. С., Каргин Р. В. Исследования проходческого перегружателя с изменяемой высотой транспортирующих элементов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2001. № 11. С. 206-209.
6. Домницкий А. А. Моделирование работы клинового бункер – перегружателя в составе проходческого оборудования при строительстве автомобильных тоннелей /А.С. Носенко // Интернет-журнал «Науковедение», 2016. №2 (34) [Электронный ресурс]. М.: Науковедение, 2016. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/sbornik6/4.pdf>. (0,65 п.л./0,4 п.л.)
7. Domnitskiy A. A., Nosenko A. S., Shemshura E. A. Evaluation of Reliability and Technical Conditions of Tunneling Machines // Procedia Engineering. 2015. № 129. pp. 624-628.
8. Носенко А. С., Домницкий А. А., Алтунина М. С., Зубов В. В. Результаты теоретических и экспериментальных исследований бункер-перегружателя с гидравлическим приводом транспортирующего элемента периодического действия // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 11. С. 119-130.
9. Лагунова Ю. А., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. и др. Горные машины. Энциклопедия. Т. IV-24 М.: Машиностроение, 2011. 493 с.
10. Воронова Э. Ю. Перспективы развития агрегатированных проходческих систем // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №3. С. 56-64.
11. Хазанович Г. Ш., Воронова Э. Ю. Параметрическая оптимизация агрегатированных проходческих систем: общие методические подходы // Наука. Технологии. Производство. 2015. № 1(5). С. 88-93.
12. Калашников С. А., Малкин О. А., Левченко А. Н. Основные направления совершенствования горнопроходческой техники. // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 8. С. 27-33.
13. Галкин В. И., Шешко Е. Е. Транспортные машины. Учебник. М. : «Горная книга». 2010. 585с.
14. Лукиенко Л. В., Гальченко К. В. Обоснование и выбор параметров манипуляторов щитовых проходческих комплексов для крепления горных выработок // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 4. С. 180-190.
15. Кантович Л. И., Хазанович Г. Ш., Волков В. В., Воронова Э. Ю., Отроков А. В., Черных В. Г. Машины и оборудование для горностроительных работ. М. : Горная книга. 2013. 445 с.

© 2022 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, 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), доктор техн. наук, профессор,

Домницкий Алексей Александрович, 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), доктор техн. наук,

Носенко Виктория Владимировна, 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), кандидат техн. наук, доцент,

Кирсанов Иван Анатольевич, 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), аспирант

Заявленный вклад авторов:

Носенко А.С. – постановка исследовательской задачи; научное руководство; выводы.

Домницкий А.А. – выполнение работы по систематизации материала; сбор и анализ данных.

Носенко В.В. – анализ результатов исследования и подготовка данных; обзор соответствующей литературы.

Кирсанов И.А. – выполнение графической части, написание текста

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Alexey S. Nosenko, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Aleksey A. Domnitskiy Dr. Sc. in Engineering, Victoria V. Nosenko, C. Sc. in Engineering, associate professor, Ivan A. Kirsanov, postgraduate

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

*E-mail: asnosenko@mail.ru

THEORETICAL RESEARCH OF THE OPERATION OF THE TRANSFER BUNKER WITH GRAVITATIONAL LOADING OF MATERIAL

Abstract.

The paper considers technical solutions for tunneling transfer bunkers developed on the basis of the use of a hydraulic drive of translational action and horizontal unloading of the destroyed rock mass. To solve the problem of loading the transfer bunker from the stationary state of the mining machine, structures with a variable angle of inclination of the chute, providing its gravitational loading, have been proposed. The goal is formulated, and the mathematical modeling of the process of filling the transfer chute with bulk material is carried out. The variable factors influencing the loading process are determined. The method for determining the maximum possible and actual volumes of bulk material in the chute of the transfer bunker with gravitational loading has been substantiated, with the aim of developing an engineering technique for choosing its rational parameters.

The main regularities of the behavior of bulk material are established, qualitative and quantitative dependences are obtained to determine the actual volume of the material on the angle of inclination φ , the type of material characterized by the angle of repose φ_0 , the angle of friction along the surface of the gutter μ_r , the angle of internal friction ρ_0 . The final mathematical model for determining the mentioned indicators is represented by a system of equations in the form of a calculation algorithm.

The physical picture of the behavior of bulk material in the implementation of gravitational loading of the transfer bunker has been studied. The calculations made it possible to establish rational values of the angle of inclination of the bunker chute to the working soil, at which the maximum volume of material in the reloader chute is achieved.



Article info

Received:

13 January 2022

Accepted for publication:

14 May 2022

Accepted:

22 June 2022

Keywords: transfer bunker, gravitational loading, gutter filling, rational angle of inclination.

For citation: Nosenko A.S., Domnitskiy A.A., Nosenko V.V., Kirsanov I.A. Theoretical research of the operation of the transfer bunker with gravitational loading of material. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 3(161):23-30 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-23-30

REFERENCES

1. Zhabin A.B., Polyakov A.V., Averin E.A. Brief analysis of problems and solutions for providing a mining enterprise with modern technical means of conducting mining operations. *Coal*. 2018; 1:27. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-1-27-30>.

2. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu. The concept of creating a promising technological paradigm for the formation (development) of underground space on the basis of the advanced development of new approaches in construction geotechnology and geotechnical engineering. Part 1. Prerequisites and basic provisions. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2018; 4(128): 105.

3. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu. The concept of creating a promising technological paradigm for the formation (development) of underground space on the basis of the advanced development of new approaches in construction geotechnol-

ogy and geotechnical engineering. Part 2. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2018; 5(129):43.

4. Vartanov M.V., Mnatsakanyan V.U. Assessment of the technological character of mining machines: algorithmic and software support. *Mining log*. 2018; 1: 68.

5. Khazanovich G.Sh., Nosenko A.S., Kargin R.V. Research of a tunnel loader with variable height of transporting elements. *Mining information-analytical bulletin*. 2001; 11:206.

6. Domnitskiy A.A., A.S. Nosenko. Modeling the operation of a wedge bunker - a reloader as part of a pass-through equipment during the construction of auto-mobile tunnels. Internet journal "Science of Science". 2016; 2(34). [Electronic resource] - M.: Science of Science, 2016. Access mode: <http://naukovedenie.ru/sbornik6/4.pdf>. (0.65 pp / 0.4 pp)

7. Domnitskiy A.A., Nosenko A.S., Shemshura E.A. Evaluation of Reliability and Technical Condi-

tions of Tunneling Machines. *Procedia Engineering*. 2015; 129: 624. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581503965X>. (0.62 pp / 0.3 pp)

8. Nosenko A.S., Domnitsky A.A., Altunina M.S., Zubov V.V. The results of theoretical and experimental studies of a bunker-reloader with a hydraulic drive of a transporting element of periodic action. *Mining information and analytical bulletin*. 2019; 11:119.

9. Lagunova Yu. A., Komissarov A. P., Shestakov V. S. et al. *Mining machines. Encyclopedia. Mashinostroenie*. 2011; 4(24):493.

10. E.Yu. Voronova. Prospects for the development of aggregated tunneling systems. *Mining information and analytical bulletin*. 2014; 3:56.

11. Khazanovich, G.Sh., Voronova E.Yu. Parametric optimization of aggregated tunneling systems: gen-

eral methodological approaches. *Science. Technologies. Production*. 2015; 1 (5):88.

12. Kalashnikov S.A., Malkin O.A., Levchenko A.N. The main directions of improvement of mining equipment. *Mining equipment and electromechanics*. 2008; 8:27.

13. Galkin V.I., Sheshko E.E. Transport machines. Textbook. Moscow: "Gornaya kniga"; 2010. 585 p.

14. Lukienko L.V., Galchenko K.V. Substantiation and choice of parameters of manipulators of shield tunneling systems for fastening mining excavations. *Izvestia of the Tula State University. Earth sciences*. 2017; 4:180.

15. Kantovich L.I., Khazanovich G.Sh., Volkov V.V., Voronova T. Yu., Otrokov A.V., Chernykh V.G. Machines and equipment for mining operations. Moscow: "Gornaya kniga"; 2013. 445 p.

© 2022 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:

Alexey S. Nosenko, 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, pl. Lenin, 1), Dr. Sc. in Engineering, Professor,

Aleksey A. Domnitskiy 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, pl. Lenin, 1), Dr. Sc. in Engineering,

Victoria V. Nosenko, 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, pl. Lenin, 1), C. Sc. in Engineering, associate professor,

Ivan A. Kirsanov, postgraduate, 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, pl. Lenin, 1)

Contribution of the authors:

Alexey S. Nosenko – statement of the research task; scientific guidance; conclusions.

Aleksey A. Domnitskiy – performance of work on the systematization of the material; collection and analysis of data.

Victoria V. Nosenko – analysis of research results and data preparation; review of relevant literature.

Ivan A. Kirsanov – performing the graphic part, writing the text.

Author have read and approved the final manuscript.

