

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНЫХ БУНКЕРОВ КОНУСНЫХ ДРОБИЛОК КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ ПРИ АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

М. А. Чендырев¹, А. Г. Журавлёв¹

¹ Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, direct@igduran.ru

Аннотация: Приведены результаты исследований влияния геометрических параметров приёмного бункера дробильной установки на его фактическую вместимость. Рассматриваются бункеры в форме параллелепипеда, рассчитанные на прямую загрузку расположенной под бункером конусной дробилки крупного дробления. Данные получены на основании моделирования геометрических параметров насыпи в бункере в соответствии с расположением мест разгрузки и грузоподъемностью автосамосвалов. Множество рассмотренных вариантов обобщено в виде двумерных и трехмерных графиков. Показано, что для современных мощных дробильных комплексов производительностью 5000–8000 т/ч рационально использование двух разгрузочных мест, расположенных с противоположных сторон; организация трехсторонней разгрузки избыточна по интенсивности загрузки дробилки и менее эффективна по заполняемости бункера. Приведены данные о влиянии длины и ширины бункера на заполняемость и степень использования геометрической вместимости, о методах увеличения вместимости бункера за счет выноса точек выгрузки в сторону центра бункера. Установлен рациональный диапазон длины и ширины бункера для рассмотренного диапазона грузоподъемности автосамосвалов. Данные исследований могут быть использованы при проектировании дробильно-перегрузочных пунктов комплексов ЦПТ, а также приемных бункеров обогатительных фабрик при загрузке автомобильным транспортом.

Ключевые слова: приёмный бункер, дробильно-перегрузочная установка, карьерный автосамосвал, дробилка ККД, вместимость бункера, заполняемость бункера, породная подушка, циклично-поточная технология.

Благодарности: Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075–00412–22 ПР.

Для цитирования: Чендырев М. А., Журавлёв А. Г. Рационализация геометрических параметров приемных бункеров конусных дробилок крупного дробления при автомобильном транспорте // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–1. – С. 158–170. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_158.

Rationalization of geometric parameters receptions bunkers primary gyratory cone crusher for automotive transport

A. G. Zhuravlev¹, M. A. Chendyrev¹

¹ Institute of mining, Ural branch, Russian academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: Annotation: The article presents the results of studies of the influence of the geometric parameters of the receiving hopper of the crushing plant on its actual capacity. We consider bunkers in the form of a parallelepiped, designed for direct loading of a cone crusher located below it. The data were obtained on the basis of modeling the geometric parameters of the embankment in the bunker in accordance with the location of the unloading points and the carrying capacity of dump trucks. Many of the options considered are summarized in the form of two-dimensional and three-dimensional graphs. It is shown that for modern powerful crushing complexes with a capacity of 5000–8000 mt/h, it is rational to use two unloading points located on opposite sides; organization of three-sided unloading is excessive in terms of the crusher loading intensity and less efficient in terms of filling the hopper. The data on the influence of the length and width of the bunker on the occupancy, the degree of utilization of the geometric capacity are given. A rational range of the length and width of the bunker has been established for the considered range of carrying capacity of dump trucks, methods of increasing the capacity of the bunker by moving the unloading points towards the center of the bunker. The research data can be used in the design of crushing and reloading points of the CPT complexes, as well as receiving bunkers of concentration plants when loading by motor vehicles.

Key words: receiving hopper, crushing and reloading plant, open-pit dump truck, coarse cone crusher, hopper capacity, bunker occupancy, rock pillow, cycle-flow technology.

Acknowledgements: the studies were performed in the framework of the State task №075–00412–22 ПР.

For citation: Zhuravlev A.G., Chendyrev M.A. Rationalization of geometric parameters receptions bunkers primary gyratory cone crusher for automotive transport. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–1):158–170. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_158.

Введение

Рост потребления полезных ископаемых требует увеличения объемов переработки, вовлечения в разработку месторождений со сложными горно-геологическими условиями, меньшим содержанием полезных компонентов [1], увеличения единичной мощности оборудования, производительности и пропускной способности установок [2]. Повышение эффективности может достигаться как за счёт совершенствования схем использования автомобильного транспорта [3, 4], так и за счёт применения конвейерного транспорта [5–8]. Среди проектируемых в последние годы обогатительных и дробильно-конвейерных комплексов много высокопроизводительных, в том числе рассчитанных на 6500–7500 т/ч при одной дробилке крупного дробления и, соответственно, обеспечиваемых

с одного приёмного бункера. Современное дробильное оборудование позволяет достигать таких показателей [9–11], при этом важным условием является полное использование его технических возможностей во взаимосвязи с системой технической эксплуатации [12–14]. Смежным аспектом проблемы обеспечения высокой производительности является вопрос эффективной загрузки дробилки в сочетании с отсутствием очередей автосамосвалов в ожидании разгрузки [15–16].

Обоснование рациональной формы бункеров, обеспечивающей эффективную загрузку технологического оборудования, посвящен ряд современных исследований [17–24], большое внимание уделяется бункерам для мелкодисперсных материалов, однако оптимизация приёмных бункеров на первичном дроблении, определяющем произво-

длительность всего комплекса, также имеет важнейшее значение.

С целью решения указанной задачи выполнены исследования по оценке рациональных параметров приёмного бункера для схемы прямой загрузки конусной дробилки крупного дробления ККД-1500 (бункер над дробилкой), в том числе по определению:

- количества и расположения мест разгрузки автосамосвалов в бункер;
- вместимости бункера в зависимости от производительности;
- фактической заполняемости бункера с учетом его формы;
- минимизации неподвижной части горной массы в бункере (породной «подушки»).

Методы исследований

В исследовании рассматривается бункер в форме параллелепипеда, предполагающий формирование на дне породной «подушки». Угол откоса «подушки» принят 50° . При этом различаются следующие понятия:

- геометрическая вместимость — объем, ограниченный внутренними стенками бункера и верхним его срезом;
- активная вместимость — объем, который опорожняется самотеком или с помощью штатных средств дозирования (питателя и т.п.), или геометрическая вместимость за вычетом мертвого объема;
- мертвый объем — пространство в бункере, заполняемое насыпным материалом, который может быть удален только специальными средствами (грейфер и т.п.) — используется, как правило, для самофутеровки в бункере, определяется его геометрическими особенностями.

Учитывая особенности заполнения бункера также необходимо выделить активную заполняемость бункера

– достижимый объем горной массы в бункере с учетом её формы за вычетом породной «подушки» на дне, определяемый геометрией бункера, свойствами горной массы, количеством и расположением мест разгрузки, геометрическими параметрами разгружаемых автосамосвалов.

Количество мест разгрузки рассчитывалось предварительно исходя из производительности дробилки и грузоподъемности автосамосвалов и затем уточнялось на основе математического моделирования процесса заполнения бункера. Математическая модель реализована в MS Excel в виде посекундного счетчика дискретного входящего потока (моделируется разгрузка автосамосвалов с учетом их грузоподъемности и соответствующего времени) и непрерывного исходящего потока (потребление дробилкой).

Трехмерное моделирование геометрических параметров бункера и насыпи горной массы выполнялось в ПО «КОМПАС 3D». Углы откоса уплотненной неподвижной горной массы (породной «подушки») и заполняемого подвижного объема в бункере принимались на основе фактических углов, имеющих в приёмных бункерах корпусов крупного дробления на действующих горно-обогатительных комбинатах. Насыпь в исследовании представлена в форме штабеля с округлыми торцами, с шириной поверху, равной ширине грузовой платформы автосамосвала.

Для установления зависимостей выполнено моделирование бункеров с разными геометрическими параметрами: длиной, шириной, высотой (см. схемы на рис. 1).

Результаты исследований

Расчеты показали (рис. 2), что для современных дробильных комплек-

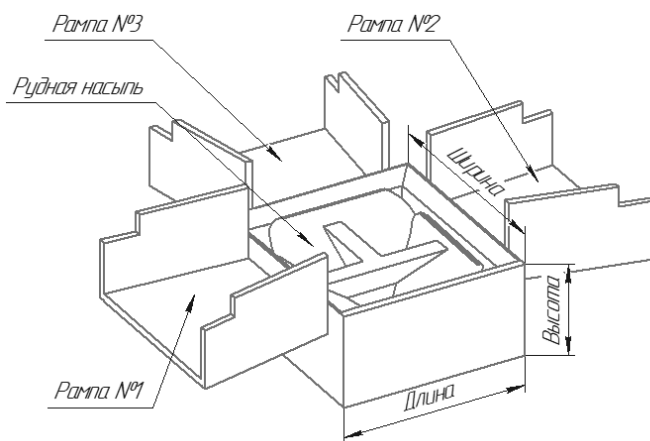


Рис. 1. Схема рассматриваемого бункера с разгрузочными рампами для автосамосвалов
 Fig. 1. Diagram of the bunker under consideration with unloading ramps for dump trucks

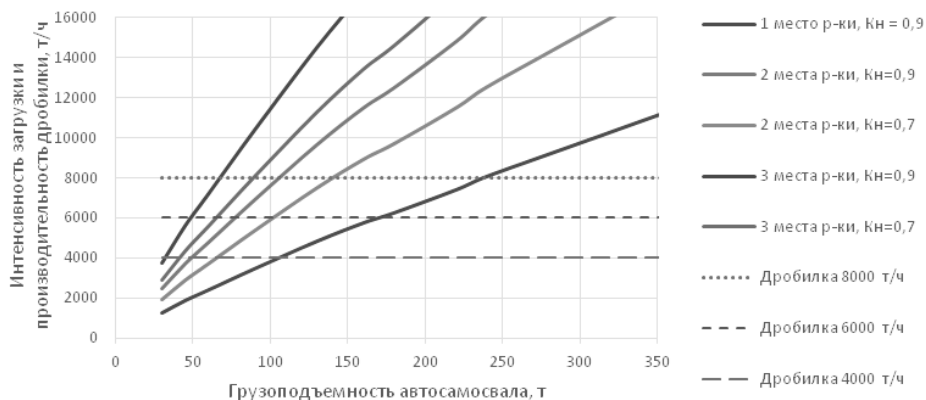


Рис. 2. Сравнение интенсивности загрузки бункера и производительности дробилки ККД в зависимости от грузоподъемности автосамосвалов и количества мест разгрузки: Кн – коэффициент неравномерности прибытия автосамосвалов, р-ки – разгрузки

Fig. 2. Comparison of the loading intensity of the hopper and the productivity of the KCD crusher depending on the loading capacity of dump trucks and the number of unloading places: Кн is the coefficient of uneven arrival of dump trucks, р– ki - unloading

сов средней (4–5 тыс. т/ч) и высокой (6–8 тыс. т/ч) производительности в большинстве случаев достаточно 2-х мест разгрузки. К тому же с точки зрения эффективной загрузки дробилок типа ККД [17, 19, 21, 24] рекомендуется располагать места разгрузки автосамосвалов вдоль траверзы.

Три места разгрузки в бункер могут быть необходимы при высокой нерав-

номерности движения автосамосвалов и необходимости минимизировать их простои в ожидании разгрузки. Однако для этого требуется существенно (в 1,5–2,5 раза) наращивать вместимость бункера, а кроме того, его длину и ширину для исключения повреждения смежных автосамосвалов при одновременной разгрузке. Все это ведет к увеличению материалоемкости,

Таблица

Влияние порядка разгрузки самосвалов грузоподъемностью 240 т на высоту вершины насыпи для бункера 12×14 м при плотности горной массы 2,5 т/м³
Selection criteria for electric drive of mine hoist

Суммарный объём насыпи, м ³	Номер ramпы	Высота вершины насыпи, м	Номер ramпы	Высота вершины насыпи, м	Номер ramпы	Высота вершины насыпи, м	Номер ramпы	Высота вершины насыпи, м
95,7	1	5,18	1	5,18	3	5,18	1	5,18
191,3	2	5,42	3	6,3	1	5,76	2	5,42
286,6	3	6,90	2	6,1	2	5,95	1	6,68
Одновременная разгрузка трёх автосамосвалов								5,84

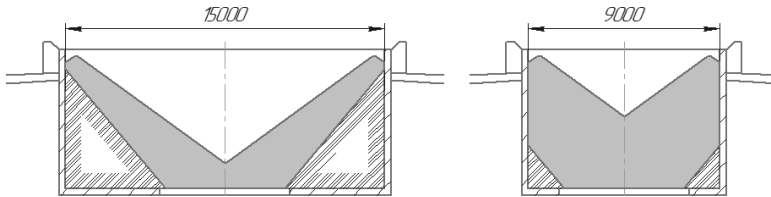


Рис. 3. Форма рудной насыпи одинакового объема в бункере высотой 6 м, шириной 12 м в зависимости от длины

Fig. 3. The shape of an ore mound of the same volume in a bunker 6 m high, 12 m wide, depending on the length

высоты дробильной установки, её стоимости, что, например, для дробильно-перегрузочных установок в комплексах ЦПТ весьма критично.

В то же время, параметры бункера должны быть согласованы с количеством мест разгрузки не только по габаритам самосвалов, но и по коэффициенту использования геометрической вместимости, или заполняемости. Моделирование показало (см. табл. 1 на примере автосамосвалов грузоподъемностью 240 т), что, например, бункер, рассчитанный по длине и ширине на трёхстороннюю разгрузку обладает худшей заполняемостью при двусторонней разгрузке.

Из последней колонки табл. 1 видно, что высота насыпи (а значит, и высота бункера) при двусторонней разгрузке трех самосвалов выше, чем при трёхсторонней разгрузке. Это объясняется более рациональным распределением горной массы по площади бункера при трёхстороннем расположении рампы. И наоборот, бункер, рассчитанный на двустороннюю разгрузку, может быть оптимизирован по длине и ширине, что существенно увеличивает его заполняемость (рис. 3) за счет более компактной формы рудной насыпи [22].

Также установлено, что соблюдение определенного порядка разгрузки

позволяет минимизировать высоту бункера (табл. 1, см. колонки 6–7). Разница в требуемой высоте бункера может составлять до 16% в зависимости от порядка разгрузки. На практике это можно реализовать через соответствующий алгоритм автоматизированной системы управления светофорами разрешения разгрузки.

Определение вместимости приёмного бункера — комплексная задача, требующая учета как технологических [18, 20], так и конструктивных факторов. Представленные исследования раскрывают важный аспект — влияние геометрических параметров бункера

на его заполняемость (использование геометрической вместимости).

Следует отметить, что на заполняемость бункера влияет грузоподъёмность используемых автосамосвалов (рис. 4). Чем она больше, тем выше будет формируемая насыпь, и наоборот. Чем меньше грузоподъёмность самосвалов в отношении к вместимости бункера, тем равномернее распределяется материал в бункере за счет формирования насыпи более тонкими слоями. При анализе графика нами установлено, что при разгрузке чётного количества самосвалов в бункер с двух противоположных мест разгрузки необ-

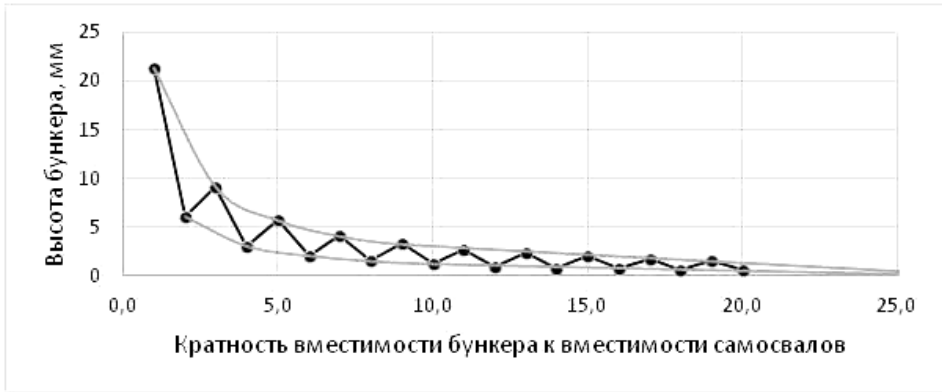


Рис. 4. Необходимая высота бункера в зависимости от кратности вместимостей бункера и самосвалов

Fig. 4. The required height of the hopper depending on the multiplicity of capacities of the hopper and dump trucks

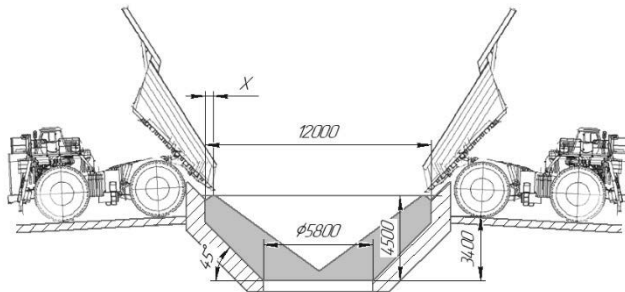


Рис. 5. Зависимость заполняемости бункера высотой 4,5 м при двусторонней оппозитной разгрузке автосамосвалов грузоподъёмностью 130 т от смещения точки выгрузки

Fig. 5. Dependence of the filling capacity of a 4.5 m high hopper with two-way opposed unloading of dump trucks with a load capacity of 130 tons on the displacement of the unloading point

ходимая высота бункера снижается. Поэтому высота бункера изменяется в некотором диапазоне в зависимости от соотношения вместимости бункера и самосвала, с уменьшением грузоподъемности самосвалов этот диапазон сужается, стремясь в бесконечности к слиянию.

Повышение заполняемости бункера может быть достигнуто смещением точек выгрузки горной массы из самосвалов в сторону центра бункера (рис. 5). Это важно при оптимизации размеров бункера, например, для дробильно-перегрузочных установок, когда при минимальной высоте необходимо обеспечить расчетную вместимость. Как следует из рис. 5, для бункера длиной 12 м и высотой 4,5 м при смещении точки выгрузки на 3 м можно увеличить заполняемость бункера с 250 до 430 м³. Ограничением для применения значительных вылетов, особенно для автосамосвалов грузоподъемностью более 100–130 т, является сложность конструкции с учетом высоты балок подъездной ramпы.

Увеличение размеров бункера приводит к росту его габаритов, металлоемкости, геометрической вместимости, но только в определенном диапазоне обеспечивает рост его фактической заполняемости [18, 20]. Это объясняется тем, что горная масса в бункере образует сложной формы насыпь, не распределяясь по всему объему, поскольку она:

- высыпается определенными порциями, равными вместимости грузовой платформы автосамосвала;
- высыпается с определенной высоты и выноса в бункер, что определяет вершину формируемой насыпи;
- насыпается на уже имеющийся в бункере навал породы;
- на дне бункера, как правило, образуется породная «подушка», форма

которой определяется углом откоса согласно физико-механическим свойствам.

Форма бункера оказывает значительное влияние на его заполнение, прежде всего на него влияют длина и ширина. Наибольшей степенью использования вместимости характеризуются высокие бункеры с относительно небольшими длиной и шириной (рис. 6, а). Это объясняется тем, что основной объем бункера расположен непосредственно над центральным разгрузочным отверстием и полностью опорожняется, при этом породная «подушка» на дне имеет меньшую площадь. Так, на рис. 6 приведены графики, характеризующие заполняемость бункера при изменении длины и ширины. Рассматривается трёхсторонняя одновременная разгрузка автосамосвалов грузоподъемностью 130–290 т при высоте бункера 6 м, причем считается, что насыпь формируется до полного заполнения бункера. Видно, что заполняемость с увеличением размеров сначала растет вслед за геометрической вместимостью, а затем не только стабилизируется, но и уменьшается (рис. 6, б), что объясняется растеканием породы при выгрузке по породной подушке, имеющей значительную площадь (см. рис. 3). Наибольшая заполняемость в рассматриваемых условиях достигается при длине бункера 10 м (размер в направлении разгрузки самосвалов) и ширине 12–13 м.

Превышение бункером рациональных размеров в плане ведет не только к потере заполняемости, но и к увеличению нагрузки [23, 24] за счет роста объема породной «подушки» на дне. Расчеты показали (рис. 7), что относительно полезной вместимости он нарастает в геометрической прогрессии. Это вызывает возрастание металлоемкости конструкций бункера и несущих

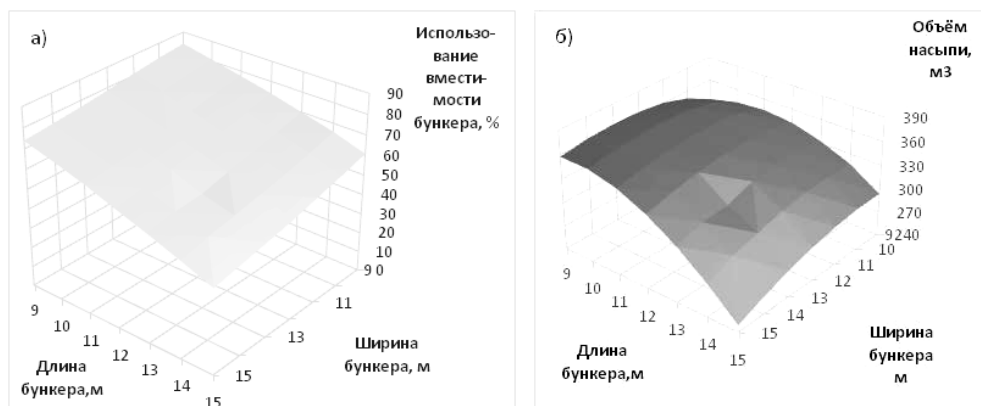


Рис. 6. Заполняемость бункера высотой 6 м в зависимости от его длины и ширины при трёхсторонней разгрузке автосамосвалов: а — степень использования вместимости; б — объём насыпи

Fig. 6. Filling capacity of a 6 m high hopper depending on its length and width during three-way unloading of dump trucks: а — the degree of capacity utilization; б — the volume of the embankment

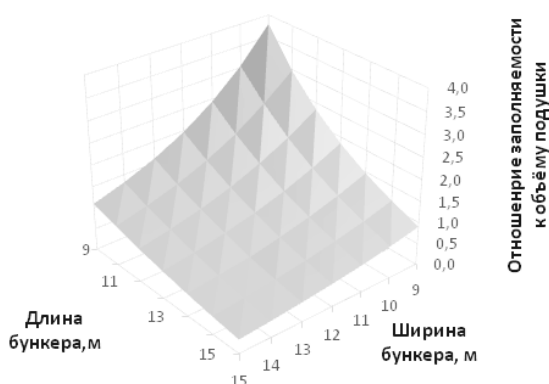


Рис. 7. Отношение объёма заполняемости к объёму «подушки» при изменении габаритных параметров бункера

Fig. 7. The ratio of the volume of occupancy to the volume of the «cushion» when changing the overall parameters of the hopper

систем, на которых он установлен. Поэтому при проектировании бункера важно не «переразмеривать» его.

Выводы

1. Установлено, что параметры приёмного бункера дробильной установки могут быть оптимизированы с достижением минимальной высоты и при максимальном коэффициенте использования геометрической вместимости под

конкретный диапазон условий эксплуатации с учетом свойств горной массы, параметров разгружаемых автосвалов, габаритных ограничений установки.

2. В большинстве случаев наиболее рациональной является схема с двумя противоположными местами разгрузки автосамосвалов, что обеспечивает хорошее заполнение бункера, более высокий коэффициент использования его объема, уменьшает нагрузки

от породной «подушки» за счет снижения ее объема, делает питание конусной дробилки наиболее эффективным.

3. Критериями оптимизации параметров бункера являются:

- обеспечение технологически обоснованной вместимости, не превышенной, но в то же время достаточной для стабильной работы;

- минимальная высота для дробильных установок с ограниченной высотой встраивания;

- степень использования геометрической вместимости бункера;

- отношение полезной вместимости к объему породной «подушки».

4. Установлено, что ширина приёмного бункера при двусторонней разгрузке должна стремиться к ширине разгружаемого автосамосвала с учетом запаса для предотвращения вылета кусков за пределы бункера, а длина быть не больше ширины с учетом габарита дробилки, встроенной в бункер и зоны для выполнения работ по уплотнению стыка «бункер-дробилка».

5. В ограниченных по высоте условиях заполняемость бункера может быть увеличена до 1,5–2 раз за счет

выноса точек выгрузки горной массы их автосамосвалов в сторону центра бункера.

Вклад авторов:

Чендырев М. А. — Моделирование формы насыпи горной массы в бункере для бункеров с разными параметрами и количеством мест его загрузки автосамосвалами. Установление зависимости заполняемости бункера от смещения точки выгрузки в него автосамосвалов. Расчет необходимой высоты бункера в зависимости от грузоподъемности используемых самосвалов. Построение графиков зависимостей заполняемости бункера от его параметров, количества мест загрузки. Оформление статьи.

Журавлёв А. Г. — Постановка задач исследования, разработка программы исследований. Разработка алгоритма и численной модели для моделирования динамики заполнения бункера. Расчет интенсивности загрузки бункера и дробилки в зависимости от грузоподъемности и количества мест разгрузки автосамосвалов. Анализ результатов расчетов и их описание, выводы по результатам исследования. Написание статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яковлев В. Л., Корнилков С. В., Соколов И. В.* Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья / Екатеринбург: УрО РАН, — 2018. — 360 с.

2. *Пикалов В. А., Лапаев В. Н., Савельев О. Ю.* Особенности проектирования высокопроизводительных карьеров // Научное издание «Технологии разработки и использования минеральных ресурсов». — 2016. — № 3. — С. 392–395.

3. *Козлов С. К., Колпаков С. В., Иншаков С. В.* Анализ эффективности внедрения комплекса автомобильной вскрыши на разрезе «Бородинский» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2018. — № 550. — С. 172–180. — DOI 10.25018/0236–1493–2018–12–50–172–180.

4. *Глебов А. В.* Основные принципы формирования автомобильного парка горнодобывающего предприятия // Горное оборудование и электромеханика. — 2010. — № 7. — С. 37–41.

5. *Яковлев В. Л., Берсенева В. А., Глебов А. В.* [и др.] Выбор схем циклично-поточной технологии на глубоких карьерах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019. — № 5. — С. 98–104. — DOI 10.15372/FTPRPI20190511.

6. *Галкин В. И.* Опыт эксплуатации трубчатых ленточных конвейеров в условиях горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — №58. — С. 140—155.

7. *Бурмистров К. В., Головей С. И.* Исследование возможности применения конвейерного транспорта в сложных горно-геологических условиях глубоких высокопроизводительных карьеров // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы докладов 76-ой международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 16–20 апреля 2018 года. — Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2018. — С. 3—4.

8. *Галкин В. И., Шешко Е. Е.* Обоснование областей эффективного применения специальных видов конвейеров на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — №51. — С. 400—410.

9. *Лагунова Ю. А., Фурин В. О., Федулов К. А.* Конусные дробилки ПАО «Уралмашзавод» для конкретных условий эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. — №1 (135). — 2018. — С. 27—33. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32438397>

10. *Jens Lichter, King Lim, Alex Potapov, Dean Kaja.* New developments in cone crusher performance optimization. Minerals Engineering, Volume 22, Issues 7–8, 2009, Pages 613—617. doi.org/10.1016/j.mineng.2009.04.003.

11. *Напольских С. А., Липатов А. Г., Фурин В. О., Журавлёв А. Г.* Совершенствование технологии первичного дробления железистых кварцитов Стойленского месторождения с применением модернизированных гирационных дробилок Уралмашзавода // Горный журнал. — 2021. — №6. — С. 41—46. DOI: 10.17580/gzh.2021.06.02.

12. *Андреева Л. И., Красникова Т. И., Ушаков Ю. Ю.* Методология формирования эффективной системы обеспечения работоспособности горной техники // Известия вузов. Горный журнал. — 2019. — № 5. — С. 92–106. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-92-106.

13. *Журавлев А. Г., Черепанов В. А.* Резервы повышения производительности подсистемы «карьерный транспорт — дробильный передел» с учетом коэффициентов использования дробильного оборудования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331. № 11. — С. 195–207. DOI 10.18799/24131830/2020/11/2902.

14. *Журавлев А. Г., Чендырев М. А., Глебов И. А., Черепанов В. А.* Методический подход к разработке регламентов технического обслуживания и ремонта дробильного оборудования горнодобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — №4. — 2020. — С. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-543-556.

15. *Шустов А. А., Хаддад Д. С., Адамчук А. А.* [и др.]. Совершенствование перегрузочных пунктов циклично-поточной технологии открытой разработки глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019. — № 6. — С. 97—105. — DOI 10.15372/FTPRP120190610.

16. *Юдин А. В., Попов А. Г., Шестаков В. С.* Бункерные системы комплексов комбинированного транспорта в карьерах // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2019. — № 2. — С. 128—139. — DOI 10.21440/0536-1028-2019-2-128—139.

17. *Changhao Guo, Mingsheng Ya, Youlin Xu, Jiaqiang Zheng.* Comparison on discharge characteristics of conical and hyperbolic hoppers based on finite element method, Powder Technology, Volume 394, 2021, Pages 300—311. doi.org/10.1016/j.powtec.2021.08.064.

18. *Юдин А. В., Шестаков В. С., Саитов В. И., Абдулкаримов М. К.* К определению вместимости бункера в составе перегрузочной системы при комбинированном транспорте // Известия вузов. Горный журнал. — 2020. — №4. — С. 99—112. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-99-112.

19. *Evgeny Rabinovich, Haim Kalman, Per F. Peterson*. Parametric study and design procedure for planar silos and hoppers. *Powder Technology*, Volume 388, 2021, Pages 333–342. doi.org/10.1016/j.powtec.2021.04.086.

20. *Жариков И. Ф.* О вместимости приемного бункера карьерной дробильной установки. *American Scientific Journal*, Volume 49, 2021, Pages 49–51. DOI: 10.31618/asj.2707–9864.2021.1.49.103.

21. *Megan Danczyk, Tom Meaclem, Maral Mehdizad, Daniel Clarke, Petrik Galvosas, Luke Fullard, Daniel Holland*. Influence of contact parameters on Discrete Element method (DEM) simulations of flow from a hopper: Comparison with magnetic resonance imaging (MRI) measurements. *Powder Technology*, Volume 372, 2020, Pages 671–684. doi.org/10.1016/j.powtec.2020.06.002.

22. *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: 10.25018/0236–1493–2019–11–0119–130.

23. *Баталов А. П., Кремчев Э. А.* Расчет нагрузок на стены бункеров цилиндрической формы // Записки горного института. — 2008. — Том. 178. — С. 31–34. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13417305>).

24. *Eduardo Rojas, Víctor Vergara, Rodrigo Soto*. Case study: Discrete element modeling of wear in mining hoppers. *Wear*, Volumes 430–431, 2019, Pages 120–125. doi.org/10.1016/j.wear.2019.04.020. **WAS**

REFERENCES

1. Yakovlev V. L., Kornilkov S. V., Sokolov I. V. *Innovacionnyj bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya* [The innovative basis of the strategy of integrated development of mineral resources]. Ekaterinburg, 2018, 360 p. [In Russ].

2. Pikalov V. A., Lapaev V. N., Savel'ev O. Yu. Features of designing high-performance quarries. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*, 2016, no.3, pp. 392–395. [In Russ].

3. Kozlov S. K., Kolpakov S. V., Inshakov S. V. Analysis of the effectiveness of the implementation of the automotive stripping complex at the Borodinsky section. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2018, no. S50, pp. 172–180. [In Russ]. DOI 10.25018/0236–1493-2018-12-50-172-180.

4. Glebov A. V. Basic principles of the formation of a mining company 's car fleet. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2010, no. 7, pp. 37–41. [In Russ].

5. Yakovlev V. L., Bersenev V. A., Glebov A. V. et al. Selection of cyclic flow technology schemes in deep quarries. *Journal of mining science*, 2018, no 5, pp. 98–104. [In Russ]. DOI 10.15372/FTPRPI20190511.

6. Galkin V. I. Experience of operation of tubular belt conveyors in the conditions of mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2008, no. S8, pp. 140–155. [In Russ]

7. Burmistrov K. V., Golovey S. I. Investigation of the possibility of using conveyor transport in complex mining and geological conditions of deep high-performance quarries. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniya: Tezisy dokladov 76-oi mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii: Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, Magnitogorsk, 16–20 April 2018*, pp. 3–4. [In Russ].

8. Galkin V. I., Sheshko E. E. Justification of the areas of effective use of special types of conveyors at the quarry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. S1, pp. 400–410. [In Russ]

9. Lagunova Yu. A., Furin V. O., Fedulov K. A. Cone crushers of PJSC «Uralmashzavod» for specific operating conditions. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2018, no. 1 (135), pp. 27 – 33. [In Russ].
10. Jens Lichter, King Lim, Alex Potapov, Dean Kaja. New developments in cone crusher performance optimization. *Minerals Engineering*, Volume 22, Issues 7–8, 2009, pp. 613 – 617. doi.org/10.1016/j.mineng.2009.04.003.
11. Napol'skih S. A., Lipatov A. G., Furin V. O., Zhuravlyov A. G. Improvement of primary crushing technology for stoilensky ferruginous quartzite using updated gyratory crushers manufactured KKD-1500/180. *Gornyi Zhurnal*, 2021, no.6. pp. 41 – 46. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.06.02.
12. Andreeva L. I., Krasnikov T. I., Ushakov Yu. Yu. The methodology for the formation of an effective system to ensure the performance of mining equipment. *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*, 2019, no. 5, pp. 92 – 106. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-92-106.
13. Zhuravlev A. G., Cherepanov V. A. Reserves to increase productivity of «quarry transport crushing-and-concentrating plant» subsystem taking into account crushing equipment utilization factors. *Bulletin of the Tomsk polytechnic university. Geo assets engineering*, 2020, vol. 331, no. 11, pp. 195–207. [In Russ]. DOI 10.18799/24131830/2020/11/2902.
14. Zhuravlev A. G., Chendyrev M. A., Cherepanov V. A., Glebov I. A. Methodical approach to the development of regulations of maintenance and repair of crushing equipment of mining companies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2020, no. 3 – 1, pp. 543 – 556. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-543-556.
15. Шустов А. А., Хаџдаџ Д. С., Аџамчук А. А. [и др.]. Improvement of transshipment points of cyclic-flow technology of open-pit mining of deep-lying mineral deposits. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2019. no. 6. pp. 97 – 105. — DOI 10.15372/FTPRPI20190610.
16. Yudin A. V., Popov A. G., Shestakov V. S. Bunker systems of combined transport complexes in quarries. *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*, 2019, no.2, pp. 128 – 139. [In Russ]. DOI 10.21440/0536-1028-2019-2-128-139.
17. Changhao Guo, Mingsheng Ya, Youlin Xu, Jiaqiang Zheng. Comparison on discharge characteristics of conical and hyperbolic hoppers based on finite element method, *Powder Technology*, Volume 394, 2021, pp. 300 – 311. doi.org/10.1016/j.powtec.2021.08.064.
18. Yudin A. V., Shestakov V. S., Saitov V. I., Abdulkarimov M. K. Determining the capacity of a bunker as a part of the handling system with combined transport, *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*, 2020, no. 4, pp. 99 – 112. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-4-99-112.
19. Evgeny Rabinovich, Haim Kalman, Per F. Peterson. Parametric study and design procedure for planar silos and hoppers. *Powder Technology*, Volume 388, 2021, Pages 333 – 342. doi.org/10.1016/j.powtec.2021.04.086.
20. Zharikov I. F. About the capacity of the receiving hopper of the quarry crushing plant. *American Scientific Journal*, vol. 49, 2021, pp. 49 – 51. [In Russ] DOI: 10.31618/asj.2707-9864.2021.1.49.103.
21. Megan Danczyk, Tom Meaclem, MaralMehdizad, Daniel Clarke, Petrik Galvosas, Luke Fullard, Daniel Holland. Influence of contact parameters on Discrete Element method (DEM) simulations of flow from a hopper: Comparison with magnetic resonance imaging (MRI) measurements. *Powder Technology*, Vol. 372, 2020, pp. 671 – 684. doi.org/10.1016/j.powtec.2020.06.002.
22. Nosenko A. S., Domnickij 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: 10.25018/0236-1493-2019-11-0119-130.

23. Batalov A. P. Kremcheev E. A. Calculation of the wall thickness of cylindrical-conical bunkers, *Zapiski gornogo instituta*, 2008, vol. 178, pp. 31 – 34. [In Russ].

24. Eduardo Rojas, Víctor Vergara, Rodrigo Soto. Case study: Discrete element modeling of wear in mining hoppers. *Wear*, Volumes 430–431, 2019, pp. 120 – 125, doi.org/10.1016/j.wear.2019.04.020.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Журавлев Артем Геннадиевич*¹ — канд. техн. наук, заведующий лабораторией транспортных систем карьеров и геотехники, <http://orcid.org/0000-0001-7643-3994>, juravlev@igduran.ru;

*Чендырев Михаил Андреевич*¹ — младший научный сотрудник, <http://orcid.org/0000-0002-8354-6345>, chendyrev@igduran.ru;

¹ Институт горного дела УрО РАН, 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58, Россия.

Для контактов: *Журавлев Артем Геннадиевич*, juravlev@igduran.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Zhuravlev A. G.*¹, chief of laboratory, Cand. Sci. (Eng.), juravlev@igduran.ru;

*Chendyrev M. A.*¹, Junior resercher, chendyrev@igduran.ru;

¹ Institute of mining, Ural branch, Russian academy of sciences, 620075, Ekaterinburg, Mamina-Sibiryaka st., 58, Russia.

Получена редакцией 01.11.2021; получена после рецензии 04.04.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 01.11.2021; received after the review 04.04.2022; accepted for printing 10.04.2022.

