

УДК 622.682:621.926

Журавлев Артем Геннадиевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией транспортных си-
стем карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, д. 58
e-mail: juravlev@igduran.ru

Чендырев Михаил Андреевич

научный сотрудник,
лаборатория транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОЛУСТАЦИОНАРНЫХ ДРОБИЛЬНО-ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЙ*

Аннотация:

В условиях наращивания производительности крупных горнодобывающих предприятий актуальным становится внедрение высокопроизводительных комплексов циклично-поточной технологии, обеспечивающих снижение эксплуатационных затрат на транспортирование до 4 раз. Важным элементом дробильно-конвейерных комплексов, применяемых в циклично-поточной технологии, являются дробильно-перегрузочные установки, поскольку они определяют подготовку материала к транспортировке конвейером, а производительность установленной в них дробилки (дробилок) лимитирует производительность комплекса в целом. Статья посвящена описанию выработанных в рамках выполненных НИОКР особенностей проектирования современных высокопроизводительных дробильно-перегрузочных установок. Приведена систематизация условий применения дробильно-перегрузочных установок разных типов в составе дробильно-конвейерных комплексов. С помощью результатов расчетов показано рациональное количество разгрузочных мест для автосамосвалов в зависимости от производительности дробильно-перегрузочных установок. Показано, что в условиях высокопроизводительной дробильно-перегрузочной установки, реализованной на базе единственной дробилки, рационально адаптировать ее параметры (в частности камеру дробления) под физико-механические свойства и гранулометрический состав подаваемой руды. Отражен принцип модульности при разработке компоновки дробильно-перегрузочной установки, которая может быть адаптирована под конкретные горно-технологические условия карьера. В заключении сформулированы принципы рационального по металлоемкости проектирования высокопроизводительных полустационарных дробильно-перегрузочных установок.

Ключевые слова: циклично-поточная технология, дробильно-перегрузочная установка, рациональная конструкция, бункер.

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.03.045

Zhuravlev Artem G.

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory of quarry transport systems
and geotechnics,
Institute of Mining UB RAS,
58 Mamina-Sibiryaka Str.,
620075 Ekaterinburg
e-mail: juravlev@igduran.ru

Chendyrev Mikhail A.

Researcher,
Laboratory of quarry transport systems
and geotechnics,
Institute of Mining UB RAS

DEVELOPMENT OF STRUCTURES SEMI-STATIONARY CRUSHING PLANTS-TRANSSHIPMENT FACILITIES FOR HEAVY CONDITIONS

Abstract:

In the context of increasing the productivity of large mining enterprises, the introduction of high-performance cyclic-flow technology complexes is becoming relevant, ensuring a reduction in operating costs for transportation by up to 4 times. An important element of crushing and conveyor complexes used in cyclic-flow technology are crushing and transshipment plants, since they determine the preparation of material for conveyor transportation, and the productivity of the crusher(s) installed in them limits the productivity of the complex as a whole. The article is devoted to the description of the design features of modern high-performance crushing and transshipment plants developed within the framework of the completed research and development. The systematization of the conditions of use of crushing and transshipment plants of various types as part of crushing and conveyor complexes is given. Using the calculation results, the rational number of unloading places for dump trucks is shown, depending on the productivity of crushing and transshipment plants. It is shown that in conditions of a high-performance crushing and transshipment plant implemented on the basis of a single crusher, it is rational to adapt its parameters (in particular, the crushing chamber) to the physical and mechanical properties and granulometric composition of the supplied ore. The principle of modularity is reflected in the development of the layout of the crushing and transshipment plant, which can be adapted to specific mining and technological conditions of the quarry. In conclusion, the principles of rational metal consumption design of high-performance semi-stationary crushing and transshipment plants are formulated.

Key words: cyclic-flow technology, crushing and transshipment plant, rational design, hopper.

* Исследования выполнены в рамках государственного задания №075-00410-25-00.

№ гос. рег. 125070908257-0. Тема 1 (2025-2027). Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России (FUWE-2025-0001).

Введение

Неуклонное развитие промышленности в нашей стране требует наращивания объемов добычи, увеличения полноты освоения запасов месторождений при достижении высоких технико-экономических показателей за счет увеличения глубины открытой разработки. Это требует применения инновационных технических и технологических решений [1].

Одним из решений улучшения экономичности добычи является применение циклично-поточной технологии (ЦПТ), обеспечивающей экономию эксплуатационных затрат до 4 раз. Однако ЦПТ требует значительных инвестиций, достаточно длительного этапа горно-подготовительных и строительно-монтажных работ по возведению комплекса. В последнее десятилетие многие крупные российские горнодобывающие компании инвестируют и внедряют дробильно-конвейерные комплексы (ДКК) для сокращения затрат на транспортирование, как правило, рудные, и в меньшей степени породные. С научно-технической и инженерной точек зрения при внедрении ЦПТ на конкретном месторождении комплексному решению подлежат две основные проблемы:

- определение по горно-технологическим и технико-экономическим аспектам оптимального момента ввода ЦПТ в эксплуатацию, периода его функционирования, порядка доработки глубинной части месторождения и целиков либо поиск такой схемы встраивания ДКК, которая обеспечит отсутствие рудных целиков под ним;
- конструирование надежного ДКК, соответствующего требованиям по производительности, сроку службы и схеме встраивания в карьере (в том числе габаритные ограничения, выход на ключевые высотные отметки и т.д.).

Наилучшие результаты при решении как первой, так и второй задачи дает комплексный учет факторов, определяемых и в конструктивно-машиностроительной части, и в части открытой геотехнологии [2].

История разработки и применения ЦПТ в России насчитывает десятки лет [3, 4]. Однако опыт был сосредоточен в основном на стационарных комплексах, а проводившиеся многочисленные исследования и опытно-конструкторские работы по передвижным и мобильным дробильно-перегрузочным установкам (ДПУ) не привели к распространению их применения.

Требование времени – применение ДКК с сокращенной продолжительностью возведения и возможностью наращивания конвейерной линии в процессе разработки с переносом ДПУ. С точки зрения конструкции ДКК эта задача решается применением в качестве несущих конструкций металла, с возможностью частичной разборки, переноса и повторной сборки. При этом наибольшую проблему составляет создание таких комплексов для мощных рудных карьеров, особенно с прочными горными породами, поскольку в столь тяжелых условиях эксплуатации одновременно действуют высокие требования как к производительности, так и к надежности ДПУ.

Задачей представленных работ является обоснование принципов выбора конструктивных параметров дробильно-перегрузочных установок, обеспечивающих высокую производительность и надежность в сложных горно-геологических условиях эксплуатации.

Такая задача в научно-техническом плане решена ПАО «Уралмашзавод» совместно с ИГД УрО РАН в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с выводом разработки ДПУ на стадию внедрения [5]. Металлоконструкции и основное оборудование разработаны и произведены в России.

Описание полученных результатов

Многообразие горно-геологических и горно-технологических условий разработки месторождений определяет существенный диапазон вариантов технических требований к ДПУ. Поэтому в рамках ряда НИОКР рассматривались разные типы и компоновки ДПУ: самоходные на базе как роторных, щековых и конусных дробилок [2], передвижные (полустационарные) на базе щековых и конусных дробилок [6], стационарные также на базе разных дробилок. Систематизация условий их применения приведена в табл. 1.

Таблица 1

Систематизация условий применения ДПУ разных типов для эксплуатации в составе ДКК

Тип ДПУ	Тип дробилки и количество	Условия применения			Особенности конвейерного комплекса	Стадия внедрения
		Технология	Высота встраивания, м	Производительность ДПУ		
Самоходная	ЩДП-15х21У (1 шт.)	Поточная технология разработки месторождения	–	Q<4-5 млн т/год**	Ленточный: С / Т*	Опытно-промышленный образец [2]
	ККД-1200 (1 шт.)		–	Q=6-8 млн т/год**	Ленточный: Т	Эскизный проект
	ККД-1500/180 (1 шт.)		–	Q=10-15 млн т/год**		
Полустационарная	ЩДП-15х21У (1 шт.)	Циклично-поточная с ленточными конвейерами до 18°	15-17	Q<6-7 млн т/год	Ленточный: С / Т*	Эскизный проект
	ККД-1200 (1 шт.)		20-25	Q=8-12 млн т/год	Ленточный: Т	Промышленный образец в стационарном исполнении
	ККД-1500/180 (1 шт.)		22-30	Q=10-30 млн т/год		Промышленный образец
	ККД-1500/230 (1 шт.)		28-32	Q=25-35(45) *** млн т/год		
Комплексная двухстадийная полустационарная	ККД-1500/180 (1 шт.) + КСД-3000 (2 шт.)	Циклично-поточная технология с ленточными или крутонаклонными конвейерами	40-45	Q=10-25 млн т/год	Ленточный либо крутонаклонный (с прижимной лентой или трубчатый)	Эскизный проект
	ККД-1500/230 (1 шт.) + КРД700/100 (2-3 шт.)		48-50	Q=25-35*** млн т/год		Эскизный проект

* С – конвейеры средней серии, Т – конвейеры тяжелой серии. Конвейеры средней серии применимы при переработке руд малой и средней крепости и невысокой абразивности.

** Пониженная производительность связана с ухудшением условий загрузки и выпуска руды из дробилки ввиду прямой разгрузки на передаточный конвейер.

*** В скобках указана достижимая производительность при минимизации простоев по горно-технологическим и организационным причинам, а также относительно ритмичной организации работы сборочного звена транспорта.

Отметим, что в последние годы повышается интерес к мобильным (передвижным) дробильным и дробильно-сортировочным комплексам среднего и малого класса для рудных материалов. Их задача – переработка руды в непосредственной близости от забоя или на возможно близком от него расстоянии на площадке в карьере или на его борту для последующего:

- либо предобогащения путем отделения в сухом виде от вскрышных пород;
- либо сортировки руд, которая должна осуществляться в дробленом состоянии;
- либо вовлечения дробленой руды в технологический процесс, осуществляемый также на передвижных установках или на отдельных линиях обогатительного производства по временной либо периодически применяемой схеме.

В этом направлении также отечественными машиностроительными предприятиями ведется разработка технологических схем и компоновок оборудования.

Одними из наиболее сложных являются высокопроизводительные полустационарные ДПУ, которые должны иметь прочные несущие металлоконструкции в своем составе и обеспечивать возможность их перемещения в процессе эксплуатации 1–3 раза, притом что оборудование должно быть мощным, надежным, обеспечивать ритмичную работу в тяжелых условиях горного производства непосредственно в карьере. За последние 5 лет реализовано 2 таких проекта: ДПУ-7200 – на Михайловском ГОКе производительностью 7200 т/ч (рис. 1) [5] и ДПУ-6500 – на Алмалыкском ГМК производительностью 6500 т/ч (рис. 2) [7, 8]. Обе установки реализованы на базе конусной дробилки ККД-1500 с прямой загрузкой из приемного бункера (работает под завалом).

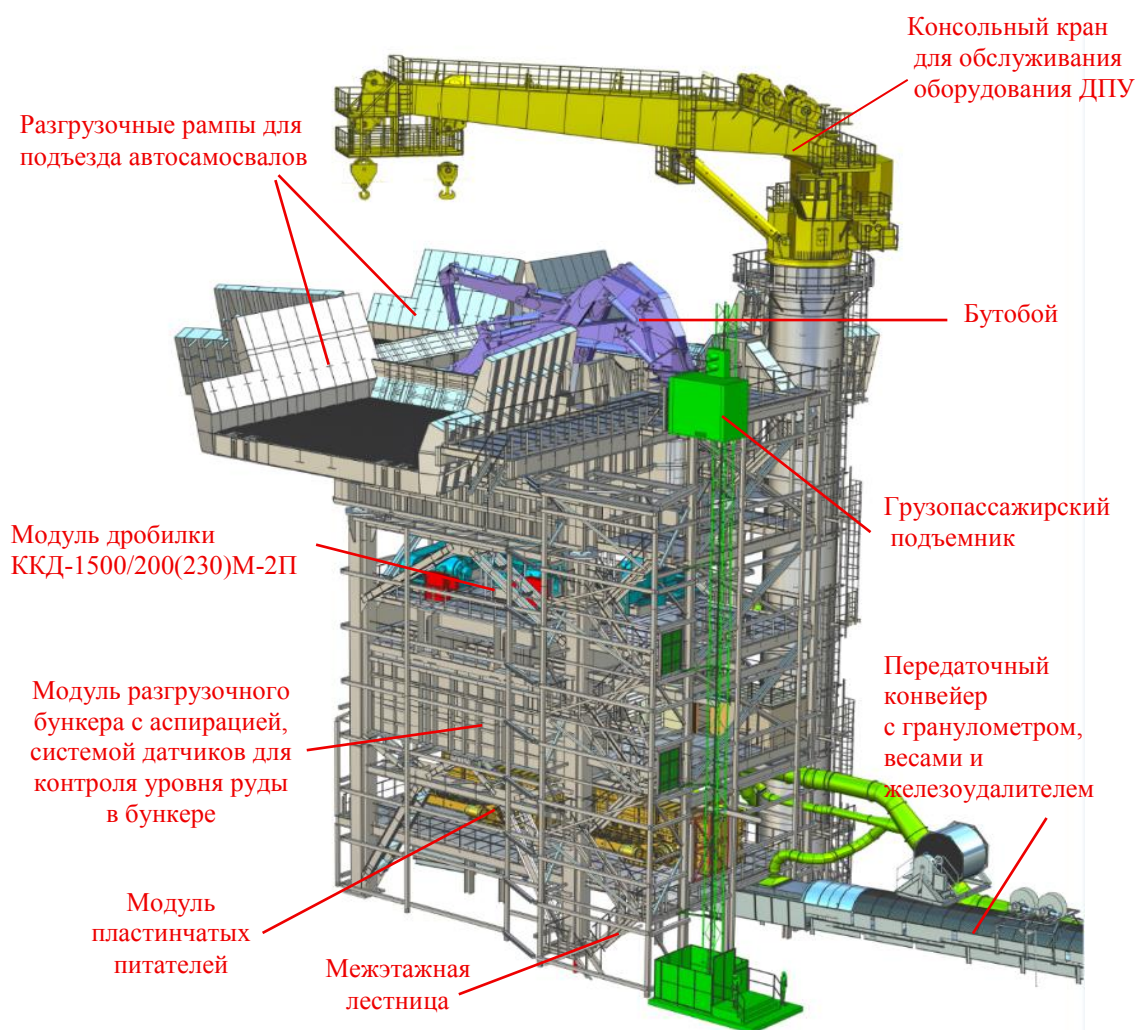


Рис. 1. Общий вид высокопроизводительной ДПУ-7200 для переработки крепких высокоабразивных руд [5]

В ходе НИОКР ставилась задача поиска рациональных конструктивных решений, обеспечивающих достижение заданных высоких технологических показателей ДПУ в условиях ограничений, накладываемых горно-технологическими условиями. Это потребовало проведения ряда исследований [9 – 11] как методом перебора конструктивных вариантов, так и методами математического и имитационного компьютерного моделирования.

В ходе такого междисциплинарного горно-технологического и конструктивно-машиностроительного похода выявлен целый ряд особенностей, описанных ниже.

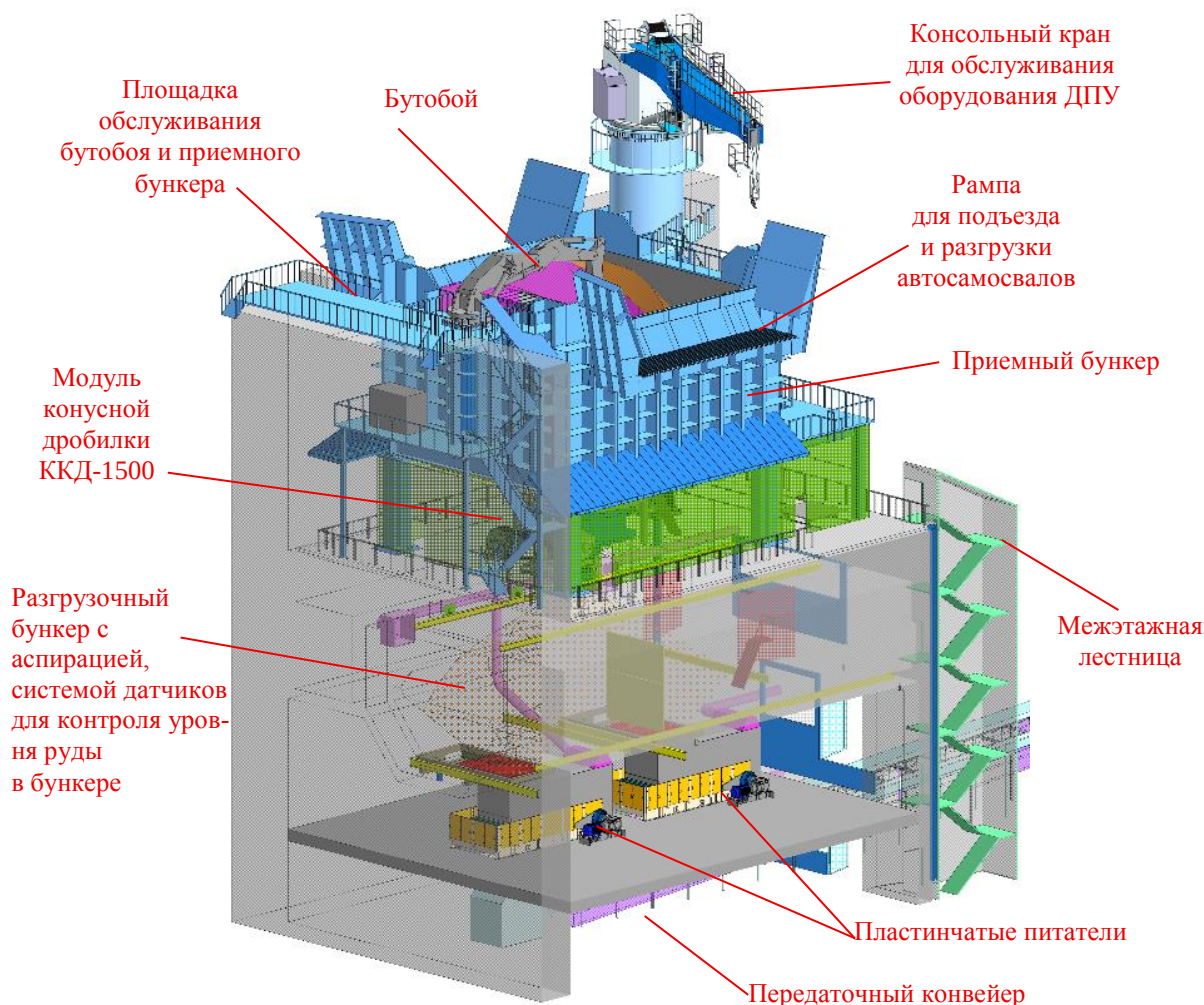


Рис. 2. Компонка высокопроизводительной ДПУ-6500
(нижняя часть выполнена на опорных железобетонных конструкциях)

В научно-технической и справочной литературе, например в [12, 13], не приводятся указания и методики конструктивно-технологической оптимизации бункеров для применения в составе дробильных и дробильно-перегрузочных установок рудных горнодобывающих предприятий, которые бы учитывали габаритные ограничения, количество и расположение мест загрузки, динамику течения разнофракционного рудного материала при загрузке и выпуске. Установлено, что определенная по упрощенным [12, 14 – 16] или специализированным [17] методикам технологическая вместимость должна проверяться и при необходимости корректироваться с учетом геометрических и конструктивных ограничений, накладываемых количеством мест разгрузки и задачами обеспечения прочности несущих металлоконструкций. Поэтому в ходе НИОКР разработаны специализированные алгоритмы и методические подходы для решения таких задач как для приемного, так и для разгрузочного (накопительного) бункера, например

описанных в [9]. Задачи решались на основе компьютерного геометрического моделирования, а также имитационных математических и компьютерных моделей [10].

Производительность ДПУ во многом зависит от правильной организации загрузки. Расчеты показали, что она определяется рациональным соотношением следующих параметров ДПУ:

- количество мест разгрузки;
- грузоподъемность разгружаемых автосамосвалов;
- размеры приемного бункера и его фактическая заполняемость, которая в отличие от геометрической вместимости определяется также расположением мест разгрузки, формой бункера и физико-механическими свойствами горной массы;
- производительность дробилки.

Исследования показали, что для современных карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности (160 – 240 т) в большинстве случаев достаточно двух разгрузочных мест, даже для высокопроизводительных ДПУ. Так, на рис. 3 видно, что при грузоподъемности автосамосвалов порядка 130 – 140 т для обеспечения часовой интенсивности загрузки на уровне 6000 – 7000 т/ч достаточно двух мест разгрузки (пересечение графиков). При грузоподъемности более 280 т достаточно одного разгрузочного места. Однако с учетом фактической неравномерности прибытия автосамосвалов, как правило, на ДПУ целесообразно иметь 2 разгрузочных места. Наличие третьего разгрузочного места может снижать простои автосамосвалов в ожидании разгрузки при большой неравномерности их прибытия, однако влечет существенное увеличение размеров приемного бункера из-за необходимости обеспечить безопасные расстояния между автосамосвалами на смежных местах разгрузки. Также ухудшаются условия заполняемости бункера при увеличении его в ширину, как показано в [9], что требует наращивания высоты для обеспечения требуемой вместимости. А учитывая, что для возможности принять руду одновременно из трех самосвалов и хранить ее по мере переработки дробилкой необходимо увеличивать вместимость бункера, расчетная высота бункера растет быстрыми темпами.

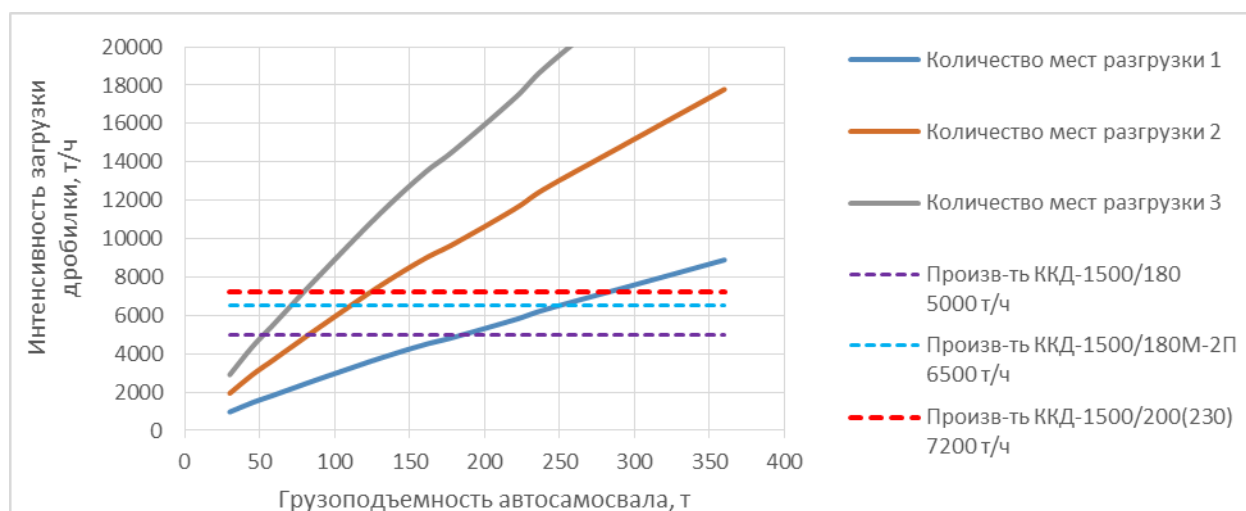


Рис. 3. Сопоставление часовой интенсивности загрузки приемного бункера ДПУ и его опорожнения дробилкой в зависимости от грузоподъемности автосамосвалов и количества разгрузочных мест

Проработка вариантов конструкций показала, что при переработке высокоабразивных прочных руд (прочность при одноосном сжатии более 12 – 15 МПа, абразивность > 0,45– 0,50 по Бонду) прием руды в бункерах необходимо осуществлять на рудную подушку (самофутеровку), поскольку износ металлических частей, подвергаю-

щихся ударно-абразивному износу, вызывает больше затрат, связанных с более частыми ремонтами, чем увеличение металлоемкости несущих конструкций.

В компоновке ДПУ-6500 и ДПУ-7200 принята схема опорожнения разгрузочного (накопительного) бункера с двумя пластинчатыми питателями. Геометрическими и технологическими расчетами установлено, что наиболее компактной в этом случае является схема с последовательным размещением питателей вдоль передаточного конвейера. Применение двух питателей позволяет:

- организовать щадящую для ленты конвейера загрузку руды (большой поток руды разделяется на две течи);
- резервировать систему по надежности (при остановке одного из питателей для обслуживания и ремонта второй ускоряется до повышенной производительности, и ДПУ продолжает стабильную работу).

Центральным элементом ДПУ является дробилка, от стабильности ее работы зависит производительность всего ДКК. По горно-геологическим условиям месторождений определяется технология подготовки горных пород к выемке, однако с учетом технико-экономических ограничений, как правило, нецелесообразно поддерживать строго нормированный гранулометрический состав горной массы, подаваемой после взрывной подготовки выемочно-погрузочными машинами в транспорт. Поэтому фракционный состав варьируется от месторождения к месторождению и в ряде случаев существенно различается. Так, фактические данные, приведенные на рис. 4 для двух реальных горно-обогажительных комбинатов, показывают, что на ГОКе № 1 «центр масс» смещен в сторону средних и крупных фракций, а на ГОКе № 2 – в сторону мелких фракций, а также наблюдается большее количество особо крупных кусков.

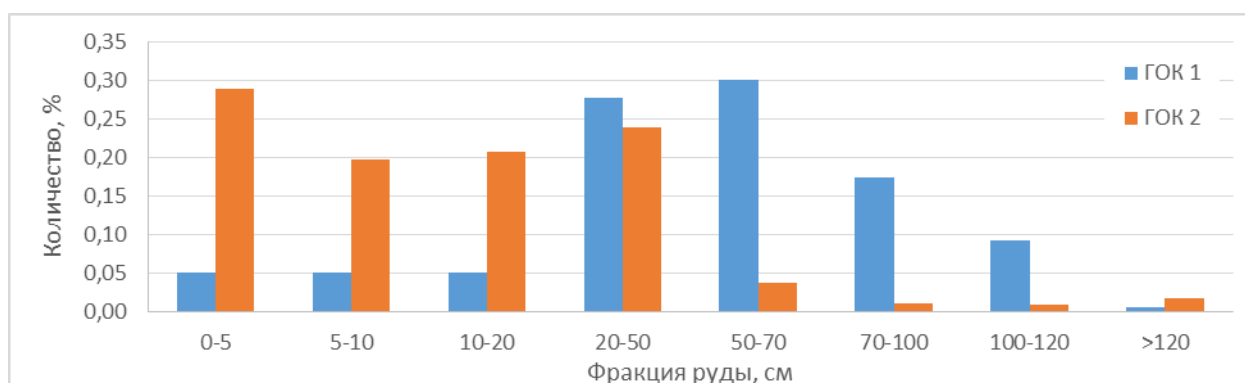


Рис. 4. Сопоставление фракционного состава руды, поставляемой на ДПУ, для разных ГОКов

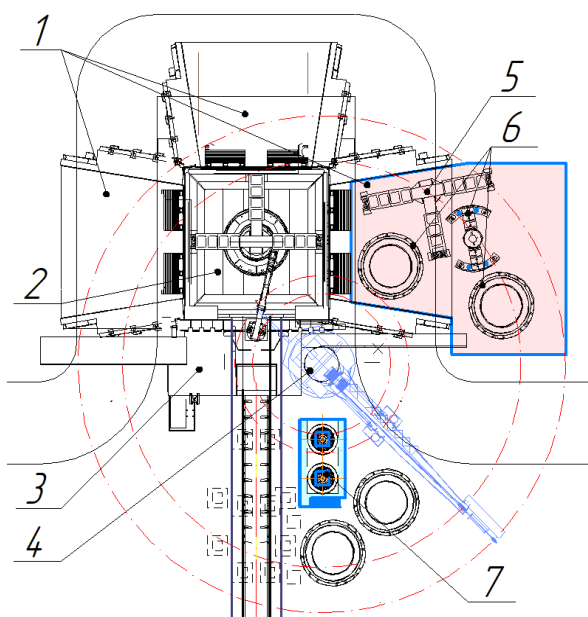
Следовательно, для ДКК, базирующихся на единственной дробилке, с целью достижения высокой производительности необходимо оптимизировать ее параметры, в том числе камеру дробления, под физико-механические и гранулометрические характеристики перерабатываемой горной массы.

В отечественной практике имеется положительный опыт разработки камер дробления для высокопроизводительных дробилок ККД-1500, адаптированных под специфические горно-геологические условия [18]. Их опытно-промышленная эксплуатация подтверждает как повышение производительности, так и достижение заданной крупности продукта. При этом конструктивно обеспечивается увеличение толщины брони в зонах наиболее интенсивного износа, что позволяет увеличить срок их службы и, как следствие, повысить коэффициент технической готовности дробилки в целом. Указанные наработки положены в основу при создании дробильно-перегрузочных установок «ДПУ-6500» и «ДПУ-7200».

Дробильно-перегрузочная установка является горно-технологическим объектом, поэтому при выборе ее параметров и компоновки должен учитываться комплекс технологических, эксплуатационных факторов и схема встраивания в горную выработку (уступ). С этой целью конструкция ДПУ должна обладать модульностью: в зависимости от технологических задач и конкретной конфигурации перегрузочного пункта ДПУ формируется из типовых модулей загрузки, приемного бункера, дробилки, разгрузочного бункера, питателей, передаточного конвейера, крана, ремонтной зоны и др.

На рис. 5 приведены варианты компоновки ДПУ, определяемые схемой размещения в уступе (прежде всего, количеством мест разгрузки автосамосвалов) и требованиями к организации ремонтной зоны. Видно, что при использовании двух подъездных рамп возможна установка консольного крана с тыльной стороны ДПУ, что позволяет обеспечить ремонт узлов полностью на верхней площадке и упростить его организацию. В то же время вариант 5а позволяет перемещать крупногабаритные узлы на нижнюю площадку уступа, что благоприятно при размещении вблизи ДПУ ремонтного цеха (особенно в холодном климате), поскольку установка цеха на верхнем уровне затруднительна из-за близости к потоку большегрузного технологического автотранспорта.

а) С ремонтом узлов на верхней и нижней площадках



б) С ремонтом узлов на верхней площадке

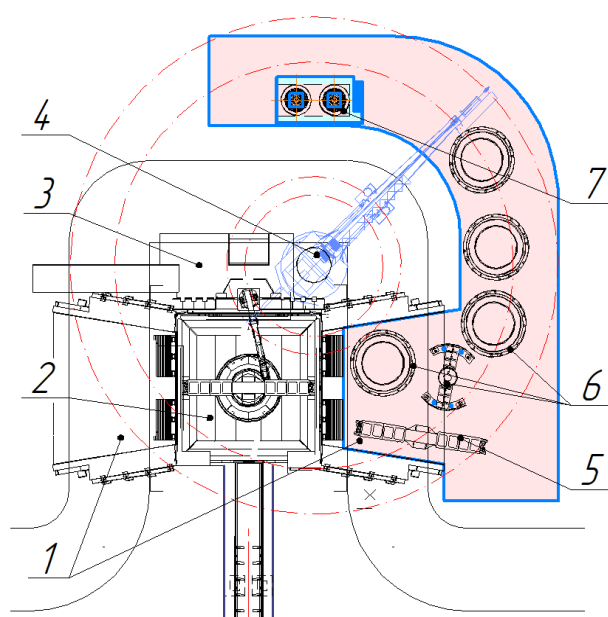


Рис. 5. Варианты компоновки ДПУ при разных схемах организации ремонтной зоны:

1 – рампы; 2 – бункер приемный; 3 – площадка бутобоя; 4 – кран консольный;
5 – балка-рассекатель; 6 – узлы дробилки; 7 – стенд конусов

Современный уровень развития средств автоматизации позволяет обеспечить решение задач комплексной автоматизации работы дробильно-перегрузочной установки. Например, оборудование ДПУ многодатчиковой системой контроля уровня руды в бункерах обеспечивает возможность контроля равномерности их заполнения и правильности подаваемого потока в дробилку за счет автоматического управления светодатчиками приемного бункера, сохранения защитных рудных подушек (например, на плотне пластинчатых питателей). Применение гранулометра при контроле входного потока руды позволяет заблаговременно отследить негабаритные куски и предотвратить их попадание в приемный бункер и дробилку, исключить простои ДПУ на разрушение негабаритов. Использование гранулометра выходного потока позволяет контролиро-

вать и регулировать степень дробления за счет внедрения системы автоматического регулирования размера разгрузочной щели дробилки.

Это позволяет:

- повысить безопасность и улучшение условий труда персонала, в т.ч. за счет переноса рабочих мест операторов на расстояние в вибрoneзависимое шумоизолированное помещение за пределами ДПУ;
- свести к минимуму необходимость воздействий персонала на работу оборудования, что в конечном итоге обеспечивает снижение необходимого количества дежурного персонала;
- улучшить технологические показатели работы ДПУ за счет более точного управления технологическим процессом при учете большого количества параметров и ограничений в сравнении с ручным управлением оператором;
- создать основу для ресурсосберегающего управления оборудованием ДПУ, в т. ч. за счет более равномерного распределения рудных потоков и достижения более равномерного износа частей машин, и, как следствие, максимального приближения межремонтного интервала к расчетному сроку службы быстроизнашиваемых узлов и деталей, а также за счет исключения прогнозируемых сверхнормативных нагрузок.

В итоге разработанные конструктивно-технические и компоновочные решения по ДПУ должны проверяться по комплексу взаимосвязанных критериев:

- а) соответствие технологическим требованиям, предъявляемым к ДПУ под конкретный объект горных работ, по набору строгих значений параметров (количественных или качественных);
- б) наибольшее приближение основных параметров к заданным технологическим требованиям, допускающим отклонение в заданном диапазоне; при этом предпочтительны те варианты, которые имеют лучшие относительно заданных значений показатели;
- в) минимум стоимости;
- г) минимум металлоемкости.

В данной системе критериев варианты, не отвечающие п. «а», отбрасываются, а остальные могут отбираться с учетом следующих подходов:

- рассматриваются последовательно в соответствии с иерархической значимостью сначала более значимые критерии, затем менее значимые, при этом на каждом более низком уровне рассматриваются только те варианты, которые признаны наилучшими либо равнозначными на более высоком уровне;
- критерии ранжируются экспертно с присвоением весовых коэффициентов, и для каждого конструктивного варианта ДПУ рассчитывается соответствующий ранговый показатель по сумме значений критериев, наилучший вариант выбирается по максимуму рангового показателя.

Выбор того или иного подхода к выбору наилучшей конструкции ДПУ осуществляется в каждом конкретном случае индивидуально. При этом первый подход целесообразнее при относительно небольшом количестве конструктивных вариантов, относительно небольшом количестве оцениваемых параметров и наличии явных оснований четко ранжировать критерии. Второй подход, хотя более универсален и «объективен», особенно в условиях большого количества качественно описываемых параметров, однако более трудоемок. Для решения особо сложных задач второй подход может быть реализован с применением математического аппарата нечеткой логики.

Для задач, в которых набор технологических требований к ДПУ задан строго (без возможности отклонения), вариативность оборудования, включаемого в состав ДПУ, невелика, а изготовление предусматривается одним заводом-изготовителем, металлоемкость и стоимость имеют тесную взаимосвязь. В этих условиях выбор рационального варианта в первом приближении может осуществляться по металлоемкости.

На рис. 6 приведено сравнение компоновочных вариантов полустационарной ДПУ на несущих металлоконструкциях производительностью 7200 т/ч по критерию металлоемкости. Разгрузочные рампы во всех вариантах рассчитаны на автосамосвалы грузоподъемностью 240 т. Дробилка – ККД-1500/200, пластинчатые питатели тяжелого типа. Насыпная плотность руды – 2,5 т/м³. Видно, что варианты компоновки с двумя разгрузочными местами менее металлоемки, при этом обеспечивают достаточный уровень надежности.

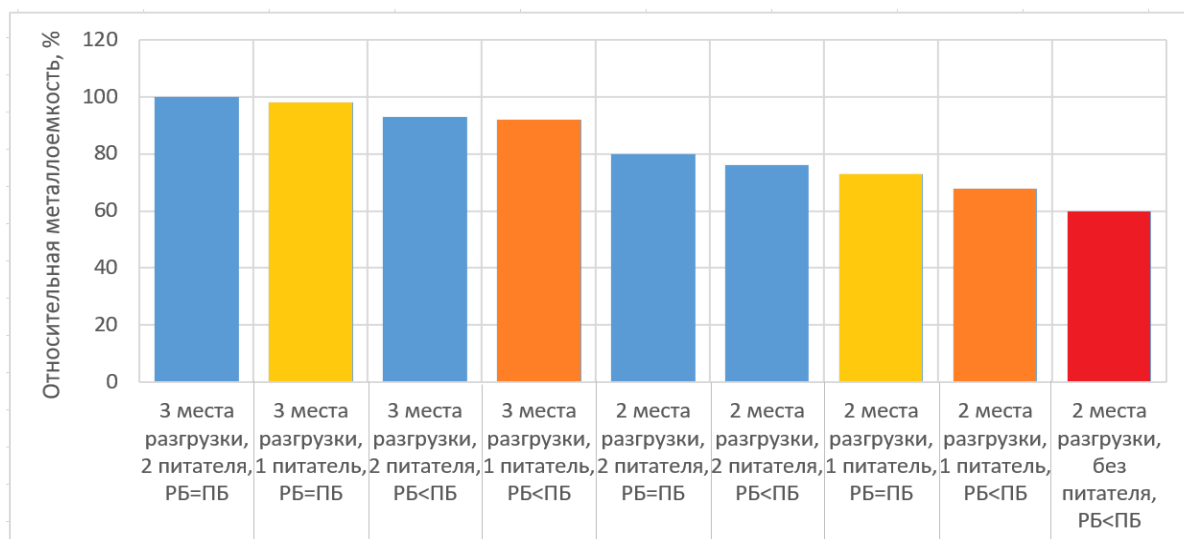


Рис. 6. Ранжирование компоновочных вариантов ДПУ по металлоемкости: Градациями красного цвета от светлого к темному показано увеличение риска необеспечения эксплуатационной надежности.

РБ=ПБ – вместимость разгрузочного бункера равна приемному;
РБ<ПБ – вместимость разгрузочного бункера заметно меньше приемного;
«2 питателя» – количество пластинчатых питателей, выгружающих руду из разгрузочного бункера на конвейер

Выводы

Установлены принципы рационального по металлоемкости проектирования высокопроизводительных полустационарных дробильно-перегрузочных установок:

1. Предпочтительно предусматривать 2 разгрузочных места у приемного бункера, расположенных противоположно-симметрично.

2. При выборе параметров приемного бункера следует учитывать соотношение его ширины и высоты при определении заполняемости по конкретной конфигурации разгрузочных мест и применяемых в технологическом процессе автосамосвалов. Вместимость бункера должна оптимизироваться с учетом параметров входного потока руды (автосамосвалов), производительности дробилки и металлоемкости бункера.

3. Разгрузочный бункер должен иметь достаточную вместимость для компенсации колебаний производительности дробилки с учетом варьирования фракционного состава горной массы, поставляемой на ДПУ, а также вмещать объем горной массы из приемного бункера в случае остановки конвейеров (определяется по результатам имитационного моделирования и/или вероятностных расчетов). Предпочтительно оптимизировать форму и вместимость разгрузочного бункера совместно с оптимизацией формы и вместимости приемного бункера на основе имитационного компьютерного моделирования с учетом производительности дробилки и системы конвейеров.

4. Компоновка ДПУ должна обеспечивать зоны обслуживания оборудования и металлоконструкций ДПУ, согласующиеся со схемой встраивания ДПУ в горную выработку с учетом перемещения крупногабаритных узлов при обслуживании и ремонте.

Список литературы

1. Яковлев В.Л., 2021. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5-1, С. 6-18.
2. Журавлев А.Г., Семенкин А.В., Черепанов В.А. [и др.], 2022. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров. *Горная промышленность*, № S1, С. 53-62. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62. EDN RPPEIQ.
3. Глебов А.В., Семенкин А.В., Кармаев Г.Д., Берсенев В.А., 2017. Эффективность применения циклично-поточной технологии при разработке Актогайского месторождения меди. *Горное оборудование и электромеханика*, № 3(130), С. 12-16. EDN UPHVVB.
4. Решетняк С.П., Авраамова Н.С., 2022. Обоснование и реализация рациональных технологических схем автомобильно-конвейерного транспорта скальных горных пород для глубоких карьеров. *Рациональное освоение недр*, №1, С. 32-39.
5. Исмагилов Р.И., Журавлёв А.Г., Фурин В.О., 2024. Проектирование современных российских дробильно-перегрузочных установок для комплексов ЦПТ. *Горная промышленность*, № 3, С. 48-55. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-3-48-55.
6. Осадчий А.М., Фурин В.О., Холодков А.А., 2013. Полустационарные дробильно-перегрузочные установки Уралмашзавода. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 11, С. 158-161.
7. УЗТМ начал поставку оборудования для Алмалыкского ГМК. *Портал журнала «Горная промышленность». Новости*. URL: <https://mining-media.ru/ru/news/17392-uztm-nachal-postavku-oborudovaniya-dlya-almalykskogo-gmk> (дата обращения 11.09.2025).
8. Андрюшенков Д., Вержлобович А., 2024. Во глубине узбекских руд. *За тяжёлое машиностроение*, № 2, с. 4-5.
9. Чендырев М.А., Журавлев А.Г., 2022. Рационализация геометрических параметров приемных бункеров дробилок ККД при автомобильном транспорте. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 5-1, С. 158-170. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_158.
10. Журавлёв А.Г., Кардашин Е.Д., 2024. Особенности моделирования работы дробильно-перегрузочной установки при оптимизации её конструктивно-технологических параметров. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*, № 24, С. 112-121. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-24-112-121.
11. Журавлев А.Г., 2024. К вопросу о применении защитных решеток на приемных бункерах дробильно-перегрузочных установок. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*, № 26, С. 119-126. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-26-119-126.
12. *Руководство по расчету и проектированию железобетонных, стальных и комбинированных бункеров*. Москва: Стройиздат, 1983, 200 с.
13. Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С., 1977. *Бункерные устройства*. Москва: Машиностроение, 225 с.
14. Баталов А.П. Кремчеев Э.А., 2008. Расчет нагрузок на стены бункеров цилиндрической формы. *Записки горного института*, Том. 178, С. 31-34.
15. Eduardo Rojas, Víctor Vergara, Rodrigo Soto, 2019. Case study: Discrete element modeling of wear in mining hoppers. *Wear*, Volumes 430–431, P. 120-125, ISSN 0043-1648. doi.org/10.1016/j.wear.2019.04.020.
16. Megan Danczyk, Tom Meaclem, Maral Mehdizad, Daniel Clarke, Petrik Galvosas, Luke Fullard, Daniel Holland, 2020. 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, P. 671-684. doi.org/10.1016/j.powtec.2020.06.002.

17. Юдин А.В., Шестаков В.С., Сайтов В.И., Абдулкаримов М.К., 2020. К определению вместимости бункера в составе перегрузочной системы при комбинированном транспорте. *Известия вузов. Горный журнал*, № 4, С. 99-112.
18. Липатов А.Г. Фурин В.О., Холодков А.А., Журавлёв А.Г., 2023. Инновационные решения в повышении эффективности крупного дробления на железорудных горно-обогатительных комбинатах. *Горная промышленность*, № 3, С.93-100. DOI 10.30686/1609-9192-2023-3-93-100

References

1. Yakovlev V.L., 2021. Metodologicheskie osnovy strategii innovatsionnogo razvitiya gornotekhnicheskikh sistem pri osvoenii glubokozalegayushchikh mestorozhdenii [Methodological foundations of the strategy of innovative development of mining engineering systems in the development of deep-lying deposits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5-1, P. 6-18.
2. Zhuravlev A.G., Semenkin A.V., Cherepanov V.A. [i dr.], 2022. Zadachi razvitiya perspektivnykh tsiklichno-potochnykh tekhnologii dlya glubokikh kar'erov [Tasks of developing promising cyclic-flow technologies for deep quarries]. *Gornaya promyshlennost'*, № S1, P. 53-62. DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62. EDN RPPEIQ.
3. Glebov A.V., Semenkin A.V., Karmaev G.D., Bersenev V.A., 2017. Effektivnost' primeneniya tsiklichno-potochnoi tekhnologii pri razrabotke Aktogaiskogo mestorozhdeniya medi [Effectiveness of the use of cyclic-flow technology in the development of the Aktogay copper deposit]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, № 3(130), P. 12-16. EDN YPHVVB.
4. Reshetnyak S.P., Avraamova N.S., 2022. Obosnovanie i realizatsiya ratsional'nykh tekhnologicheskikh skhem avtomobil'no-konveiernogo transporta skal'nykh gornykh porod dlya glubokikh kar'erov [Substantiation and implementation of rational technological schemes for automotive conveyor transportation of rocks for deep quarries]. *Ratsional'noe osvoenie nedr*, №1, P. 32-39.
5. Ismagilov R.I., Zhuravlev A.G., Furin V.O., 2024. Proektirovanie sovremennykh rossiiskikh drobil'no-peregruzochnykh ustanovok dlya kompleksov TsPT [Design of modern Russian crushing and transshipment facilities for CPT complexes]. *Gornaya promyshlennost'*, № 3, P. 48-55. DOI: 10.30686/1609-9192-2024-3-48-55.
6. Osadchii A.M., Furin V.O., Kholodkov A.A., 2013. Polustatsionarnye drobil'no-peregruzochnye ustanovki Uralmashzavoda [Semi-stationary crushing and transshipment plants of Uralmashzavod]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 11, P. 158-161.
7. UZTM nachal postavku oborudovaniya dlya almalykskogo gmk [UZTM has started supplying equipment to almalyk mmc]. Portal zhurnala "Gornaya promyshlennost". Novosti. URL: <https://mining-media.ru/ru/news/17392-uztm-nachal-postavku-oborudovaniya-dlya-almalykskogo-gmk> (data obrashcheniya 11.09.2025).
8. Andryushenkov D., verzhlovich A., 2024. Vo glubine Uzbekskikh rud . [In the depths of Uzbek ores.] *Za tyazheloe mashinostroenie*, № 2, P. 4-5.
9. Chendyrev M.A., Zhuravlev A.G., 2022. Ratsionalizatsiya geometricheskikh parametrov priemnykh bunkerov drobilok KKD pri avtomobil'nom transporte [Rationalization of the geometric parameters of the receiving bunkers of KKD crushers in automobile transport]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 5-1, P. 158-170. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_158.
10. Zhuravlev A.G., Kardashin E.D., 2024. Osobennosti modelirovaniya raboty drobil'no-peregruzochnoi ustanovki pri optimizatsii ee konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov [Features of modeling the operation of a crushing and transshipment plant while optimizing its structural and technological parameters]. *Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo*, № 24, P. 112-121. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-24-112-121.

11. Zhuravlev A.G., 2024. K voprosu o primenении zashchitnykh reshetok na priemnykh bunkerakh drobil'no-peregruzochnykh ustanovok [On the issue of the use of protective grids on the receiving bunkers of crushing and transshipment plants]. *Transportnoe, gornoe i stroi-tel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo*, № 26, P. 119-126. DOI: 10.26160/2658-3305-2024-26-119-126.
12. Rukovodstvo po raschetu i proektirovaniyu zhelezobetonnykh, stal'nykh i kombinirovannykh bunkerov [Guidelines for the calculation and design of reinforced concrete, steel and combined bunkers]. Moscow: Stroiizdat, 1983, 200 p.
13. Zenkov R.L., Grinevich G.P., Isaev V.S., 1977. Bunkernye ustroistva [Bunker facilities]. Moscow: Mashinostroenie, 225 p.
14. Batalov A.P. Kremcheev E.A., 2008. Raschet nagruzok na steny bunkerov tsi-lindrokonicheskoi formy [Calculation of loads on the walls of cylindrical-conical bunkers]. *Zapiski gornogo instituta*, Vol. 178, P. 31-34.
15. Eduardo Rojas, Víctor Vergara, Rodrigo Soto, 2019. Case study: Discrete element modeling of wear in mining hoppers. *Wear*, Volumes 430–431, P. 120-125, ISSN 0043-1648. doi.org/10.1016/j.wear.2019.04.020.
16. Megan Danczyk, Tom Meaclem, Maral Mehdizad, Daniel Clarke, Petrik Galvosas, Luke Fullard, Daniel Holland, 2020. 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, P. 671-684. doi.org/10.1016/j.powtec.2020.06.002.
17. Yudin A.V., Shestakov V.S., Saitov V.I., Abdulkarimov M.K., 2020. K opredeleniyu vmestimosti bunkera v sostave peregruzochnoi sistemy pri kombinirovannom transporte [On determination of the capacity of the bunker as part of the transshipment system for combined transport]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal*, № 4, P. 99-112.
18. Lipatov A.G. Furin V.O., Kholodkov A.A., Zhuravlev A.G., 2023. Innovatsionnye resheniya v povyshenii effektivnosti krupnogo drobleniya na zhelezorudnykh gornobogatitel'nykh kombinatakh [Innovative solutions in increasing the efficiency of large-scale crushing at iron ore mining and processing plants]. *Gornaya promyshlennost'*, № 3, S.93-100. DOI 10.30686/1609-9192-2023-3-93-100.