УДК 622.271.3.001.63:621.926.2 DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40

Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок

Чиркин А. А.[1], Кантемиров В. Д.[2]*

[1] Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Россия

[2] Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

e-mail: ukrkant@mail.ru

Реферат

Введение. *На современных горнодобывающих предприятиях в России и за рубежом широко применяется открытый способ разработки рудных полезных ископаемых. При этом эффективно используется циклично-поточная технология с передвижными дробильно-перегрузочными установками (ПДПУ) различной конструкции.*

Цель работы. *Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок.*

Методология. *Работа проектировщиков и конструкторов по выбору типа компоновочной схемы ПДПУ и элементов ее конструкции, а также по совершенствованию установки в целом в значительной мере затруднена из-за отсутствия единого методического подхода к проектированию передвижных дробильно-перегрузочных установок в модульном (блочном) исполнении. Многовариантность разработанных компоновочных решений передвижных дробильно-перегрузочных установок требует формулирования общих принципов, предъявляемых к проектированию установок данного типа. В статье выполнены анализ конструкций ПДПУ и обоснование оптимальной компоновочной схемы установки в модульном исполнении в составе транспортной схемы карьера.*

Результаты. *Выполненные исследования, в том числе в ИГД УрО РАН, позволили разработать исходные требования к проектированию установок данного типа, в соответствии с которыми конструкторами производственного объединения «Уралмашзавод» был разработан технический проект передвижной установки ПДПУ-2000 производительностью 2000 м^3/ч, состоящей из трех модулей на базе конусной дробилки ККД 1500/180.*

Выводы. *К перспективным конструкциям ПДПУ в модульном исполнении, разрабатываемым в настоящее время, следует отнести двух- и трехмодульные установки, оснащаемые щековыми и конусными дробилками крупного дробления. Перенос на новое место модулей установки производится с помощью многоцелевого гусеничного транспортера грузоподъемностью до 1000 т. К этим типам ПДПУ в последнее время проявляется повышенный интерес, о чем свидетельствует большое количество запатентованных технических решений.*

Ключевые слова: *передвижная дробильно-перегрузочная установка; конусная дробилка; производительность; гусеничный транспортер; ленточный конвейер; открытые горные работы.*

Введение. На современном этапе развития открытых горных работ как на отечественных, так и на зарубежных карьерах все большее значение приобретает применение циклично-поточной технологии (ЦПТ) с передвижными дробильно-перегрузочными установками в модульном (блочном) конструктивном исполнении. Применение модульного принципа конструктивного исполнения вызывает необходимость формулирования комплекса требований, которые должны определять компоновочную структуру каждого модуля (блока) карьерной передвижной дробильно-перегрузочной установки. Данный комплекс требований должен учитывать все многообразие горно-технологических факторов, конструктивные особенности карьерной передвижной дробильной установки как в целом, так и отдельных модулей, входящих в установку.

Отличительной особенностью открытых горных работ является стойкая тенденция к увеличению глубины карьеров, росту расстояний транспортирования горной массы и, следовательно, снижению производительности всей транспортной системы в карьере, энергоэффективности и экономической эффективности системы в целом. Учитывая динамику горных работ в карьере, применение передвижной дробильной установки как связующего звена между цикличным автомобильным и непрерывным конвейерным транспортом не должно вызывать отрицательных, сдерживающих факторов для транспортной системы карьера, быть экономически эффективным на протяжении всего периода производства горных работ в карьере [1–5]. Дробильно-перегрузочная установка должна удовлетворять понятию «технологичности», но данное понятие довольно широко и может меняться в зависимости от конкретных горнотехнических условий, что определяет разработку нового методического подхода к проектированию установок данного типа.

Проведение исследований. Современный этап развития открытых горных работ на отечественных и зарубежных карьерах характеризуется увеличением единичной мощности оборудования во всех звеньях транспортной системы карьера. Одновременно с увеличением единичной мощности оборудования происходит увеличение и глубины карьеров, что нередко приводит к техническому противоречию с необходимостью поддерживать экономически эффективную мощность карьера как по полезному ископаемому, так и по вскрышным работам. Поиск экономически эффективной технологии добычи полезных ископаемых открытым способом, который активно начался еще в середине прошлого века, привел к идее перенести первичную стадию крупного дробления в карьер с одновременным вводом конвейерного транспорта, который на тот период достиг высокого технического уровня. При этом значительно увеличилась экономическая эффективность автомобильного транспорта и соответственно транспортной системы карьера в целом. Дробильно-перегрузочные пункты, оснащенные конусными либо щековыми дробилками крупного дробления, размещались, как правило, на временно нерабочем борту карьера и представляли собой дробильно-обогатительный корпус, расположенный в карьере. Размещение стационарного дробильно-перегрузочного пункта в карьере сдерживало развитие горных работ, приводило к увеличению расстояния транспортирования автомобильным транспортом, что в конечном итоге сводило на нет те преимущества, которые были получены первоначально при введении стадии крупного дробления в карьер. Данный факт определил начало нового этапа в развитии циклично-поточной технологии поиска новых технических и технологических решений для повышения эффективности транспортной системы. На отечественных и зарубежных карьерах стали появляться дробильно-перегрузочные пункты для перегрузки с автомобильного на конвейерный транспорт в виде установок, которые монтировались на сборных металлоконструкциях без массивных железобетонных фундаментов. Данный тип установок получил название полустационарных дробильно-перегрузочных пунктов, в отличие от стационарного дробильно-перегрузочного пункта, и имел возможность разборки и переноса на новый концентрационный горизонт.

При комплектации полустационарного дробильно-перегрузочного пункта использовалось серийное заводское оборудование и металлоконструкции, которые доставлялись в карьер на транспортных средствах, а монтаж производился непосредственно в карьере. Сроки монтажа полустационарного дробильно-перегрузочного пункта в два-три раза меньше, чем стационарного и составляют от шести до десяти месяцев. Применение полустационарных дробильно-перегрузочных пунктов стало значительным техническим прорывом в развитии циклично-поточной технологии. Однако к 1980–1990-м гг., когда произошло сокращение вре-

мени подготовки горной массы к транспортировке за счет сокращения цикла буровзрывных работ и процесса экскавации и увеличились темпы углубки горных работ, данный тип установок стал сдерживающим фактором в развитии технологии горных работ в карьере. Исследования в области создания внутрикарьерных дробильно-перегрузочных установок активно велись в ИГД МЧМ СССР (ИГД УрО РАН), что позволило разработать теоретические основы применения подобных установок. В этот период на карьерах США, Канады стали применяться передвижные дробильно-перегрузочные установки с высокой степенью готовности, которые доставлялись в карьер специальным транспортным средством на гусеничном ходу, при этом строительно-монтажные работы в карьере были сведены до минимума.

Несмотря на наличие значительного количества решений по конструктивному исполнению передвижных дробильно-перегрузочных установок в модульном исполнении, поиск наилучших решений продолжается в России и за рубежом [5–12]. Одной из причин является отсутствие единого методологического подхода при выборе оптимальной компоновочной схемы из всех возможных вариантов конструкторских решений.

Результаты. Предлагается для конструкций передвижных дробильно-перегрузочных установок в модульном исполнении рассматривать три типа компоновки.

Первый тип компоновки – одномодульный, представляет собой единый модуль, в который входит опорная конструкция, выполненная в виде рамы, на которую установлены, как правило, конусная либо щековая дробилка, загрузочный бункер, разгрузочный питатель. В случае применения щековой дробилки рекомендуется применять пластинчатый питатель тяжелого типа. Применение конусной дробилки допускает возможность прямой загрузки через приемный бункер. Однако по технологическим условиям это не всегда целесообразно, так как необходимо сформировать уступ 25 м и более со строительством вертикальных подпорных стенок из бетона для того, чтобы расположить дробильно-перегрузочную установку вплотную к уступу для организации разгрузочной площадки. В случае отказа от вертикальных подпорных стен и установки ПДПУ в нише необходимо монтировать разгрузочные рампы с опиранием их на опорную раму установки. В этом случае возникают дополнительные динамические нагрузки при разгрузке автомобиля. При применении одномодульной компоновки ПДПУ разгрузка в бункер-питатель осуществляется с разгрузочной площадки для автомобилей с вышележащего уступа. Общая ширина площадки определяется как сумма площадки горизонта установки собственно ПДПУ и разгрузочной площадки для автомобилей. При данной компоновке общая масса ПДПУ может достигать 1000 т, для перемещения установки необходимо автономное гусеничное транспортное средство соответствующей грузоподъемности.

Второй тип компоновки – двухмодульный, представляет собой два модуля – модуль бункера-питателя и модуль дробилки с разгрузочным конвейером. При этом оборудование каждого модуля устанавливается на собственной несущей раме. Габаритные размеры каждого модуля примерно одинаковые, что позволяет перемещать модули по карьерным автодорогам, масса каждого из них не превышает 700 т. Перемещение модулей также осуществляется с помощью автономного гусеничного транспортера. Для монтажа и работы установки достаточно 15-метрового уступа. Для устройства разборной разгрузочной площадки устанавливаются специальные металлические колонны с опиранием на них разгрузочных рамп. При данной конструкции разгрузочной площадки не происходит передача на нее дополнительных динамических нагрузок при разгрузке автосамосвалов. При двухмодульной компоновке увеличиваются размеры площадки

для установки ПДПУ на габаритную величину одного модуля, при этом размеры разгрузочной площадки остаются прежними.

Вариант трехмодульной компоновки ПДПУ отличается от предыдущего тем, что разгрузочный конвейер выполнен как самостоятельный модуль на колесном ходу, что облегчает его монтаж и демонтаж при ремонтных работах.

Опыт эксплуатации передвижных дробильно-перегрузочных установок и технико-экономический анализ показывают, что для рудных карьеров необходимо иметь установки с производительностью в пределах 600–2000 м^3/ч [13].

При выборе компоновочной схемы ПДПУ и определения ее экономической эффективности необходимо учитывать весь комплекс факторов (рис. 1).

Рис. 1. Факторы, учитываемые при проектировании передвижной дробильно-перегрузочной установки
Fig. 1. Factors taken into account in the design of a mobile crushing plant

По результатам исследований, выполненных в ИГД МЧМ СССР (ИГД УрО РАН), были разработаны исходные требования к проектированию передвижной дробильно-перегрузочной установки. В соответствии с исходными требованиями ИГД в АО «Уралмашзавод» разработан технический проект установки ПДПУ-2000 производительностью 2000 м^3/ч. В состав установки входит три модуля: модуль с конусной дробилкой ККД 1500; модуль бункера-питателя, рассчитанного на два места разгрузки; модуль разгрузочного конвейера. Перемещение модулей дробильной установки производится с помощью автономного гусеничного транспортного средства грузоподъемностью 1000 т. Для размещения установки достаточно 15-метрового уступа, для разгрузки автосамосвалов монтируется разгрузочная площадка на два места разгрузки (рис. 2).

Для определения технического уровня спроектированной установки были проведены патентные исследования, которые позволили определить ближайший аналог, которым является передвижная дробильно-перегрузочная установка фирмы «Дювэл» (США). Результаты сравнительного анализа приведены в табл. 1.

Как показывает сравнительный анализ, по основным технико-экономическим показателям ПДПУ-2000 превосходит дробильно-перегрузочную установку фирмы «Дювэл». Кроме того, применение в ПДПУ-2000 питателя оригинальной конструкции позволяет производить разгрузку автосамосвалов в приемный бункер как с горизонта установки модуля дробилки, так и с вышележащего горизонта, на котором устраивается разгрузочная площадка, что расширяет технологические возможности дробильно-перегрузочной установки.

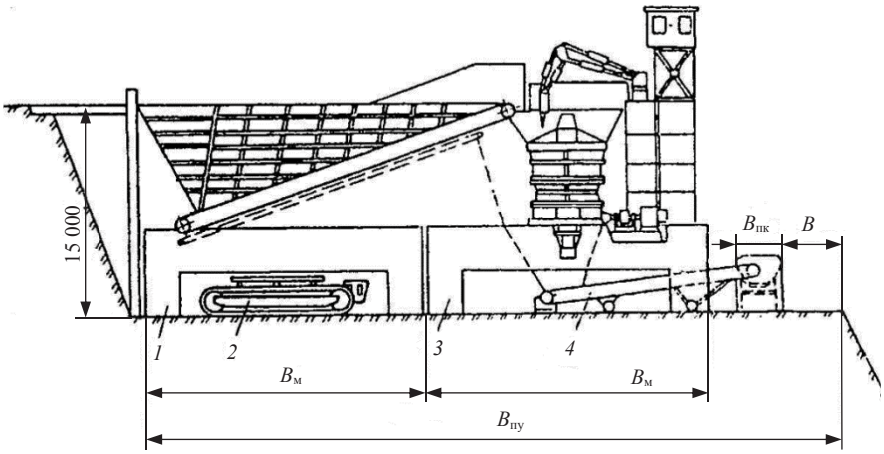

Рис. 2. Передвижная дробильно-перегрузочная установка ПДПУ-2000:
1 – модуль бункера-питателя; *2* – гусеничный транспортер ТГ-1000; *3* – модуль дробилки; *4* – разгрузочный конвейер; *B* – ширина полосы безопасности, м; $B_м$ – длина опорной конструкции модуля, м; $B_{пк}$ – ширина передвижного ленточного конвейера, м; $B_{пу}$ – ширина площадки для установки ПДПУ-2000, м

Fig. 2. Mobile crushing plant PDPU-2000:
1 – feeder hopper module; *2* – tracked conveyor TG-1000; *3* – crusher module; *4* – discharge conveyor; *B* is the width of the safety strip, m; B_m – length of the module support structure, m; B_{mb} – the width of the mobile belt conveyor, m; B_{pi} – width of the platform for installing PDPU-2000, m

Большое значение с точки зрения технологии горных работ имеют габаритные размеры установки, которые определяют параметры площадки для размещения ПДПУ в карьере с учетом маневров автосамосвалов при разгрузке рудного сырья. Ширина площадки в варианте установки питателя, когда совмещается горизонт установки модуля-дробилки и горизонт разгрузки, составляет 95 м, а при устройстве разгрузочной площадки горизонтом выше ширина площадки составляет 75 м.

Предложенная компоновочная схема в ПДПУ-2000 позволяет сократить габаритные размеры установки и, следовательно, уменьшить площадку для ее расположения в карьере [13, 14].

Выводы. Опыт эксплуатации передвижных дробильно-перегрузочных установок в модульном исполнении и технико-экономические исследования их применения показывают, что внедрение передвижных дробильно-перегрузочных установок расширяет область эффективного использования циклично-поточной технологии.

Обсуждение типов компоновочных схем ПДПУ показывает, что в данном вопросе необходим тщательный технико-экономический анализ всех вариантов. Определяющими факторами являются условия эксплуатации, производитель-

ность, экономическая эффективность всего комплекса циклично-поточной технологии с ПДПУ.

Наибольшее распространение получили двух- и трехмодульные варианты исполнения ПДПУ, перенос которых производится автономным транспортным средством на гусеничном ходу грузоподъемностью до 1000 т. Применение данных компоновочных решений позволяет получить наиболее оптимальные габаритные размеры установки, а следовательно, размеры площадок для их размещения в карьере, что особенно важно при доработке глубоких карьеров. В сложных условиях эксплуатации при дроблении весьма твердой рудной массы, когда возникают значительные динамические нагрузки при разгрузке автомобилей в бункер-питатель при одновременной разгрузке двух автомобилей, необходимо принимать дополнительные меры по их снижению. К таким мерам можно отнести

Таблица 1. Технико-экономические показатели дробильно-перегрузочных установок
Table 1. Technical and economic indicators of crushing plants

Тип ПДПУ	Ширина приемной щели, мм	Номинальная ширина разгрузочной щели, мм	Наибольший размер кусков питания, мм	Производительность техническая / удельная, т/ч / (т/ч)/мм	Масса, не более*, т	Установленная мощность, кВт	Удельная масса, т/(т/ч)	Удельный расход электроэнергии, кВт · ч/т
ПДПУ-2000 с конусной дробилкой	1500	180	1200	4000 / 22,2	1250	850	0,31	0,21
ПДПУ фирмы «Дювэл»	1520	180	1216	2900 / 16,1	1620	1368	0,55	0,47

* Модуль бункера-питателя и дробильный модуль.

независимое устройство разгрузочной эстакады и модуля бункера-питателя установки, исключающее возможность передачи дополнительных динамических нагрузок от разгрузочной эстакады к бункеру-питателю, а также рациональной конструкции самого бункера-питателя с определением оптимальных углов наклона приемных стенок бункера и правильным выбором пластинчатого питателя тяжелого типа. Расширить область применения данных вариантов компоновки можно путем использования конусных дробилок крупного дробления, позволяющих производить их прямую загрузку без применения пластинчатого питателя.

Выбор оптимальной компоновочной схемы передвижной дробильно-перегрузочной установки в модульном исполнении зависит от результатов технико-экономической оценки вариантов на стадии проектирования циклично-поточной технологии в составе транспортной схемы карьера. Предварительные расчеты показывают высокую экономическую эффективность схем ЦПТ с ПДПУ для глубоких рудных карьеров, что является предпосылкой их широкого внедрения в практику открытых горных работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яковлев В. Л. Состояние, проблемы и пути совершенствования открытых горных разработок // Горный журнал. 2009. № 11. С. 11–14.

2. Яковлев В. Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров // Горный журнал. 2003. № 4/5. С. 51–56.

3. Яковлев В. Л. Некоторые перспективные направления исследований в области карьерного транспорта // Матер. междунар. науч.-техн. конф. по карьерному транспорту. Екатеринбург, 2002. С. 15–20.

4. Фаддеев Б. В., Чапурин Н. А. Дробильные установки на карьерах. М.: Недра, 1981. 161 с.

5. Sassos M. P. In pit crushing and conveying sistems // Engineering and Mining Journal. 1984. Vol. 85. No. 4. P. 46–59.
6. Muller G. Shenkung der betriebsconsten im Festgesteein – Tagebau durch Einsatz von Brecher-Band System // Fordern und Heben. 1986. Bd. 36. N 8. S. 556–559.
7. Engineering Contractors // Mining Magazin. 1998. Vol. 179. No. 2. P. 75.
8. Marek T. M. In-pit crushing and conveying-mine planning and operations // Skillings Mining Review. 1985. Vol. 74. No. 22. P. 6–10.
9. Utley R. W. In-pit crushing. In: SME Mining Engineering Handbook, 3rd ed. P. Darling, ed. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2011. P. 941–957.
10. Londono J. G., Knights P., and Kizil M. Review of in-pit crusher conveyor (IPCC) application. In: 2012 Australian Mining Technology Conference. 2012. P. 63–82.
11. Чиркин А. А. Опыт проектирования и внедрения передвижных дробильно-перегрузочных установок для открытых горных работ // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XIV Междунар. науч.-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека / УГГУ. Екатеринбург, 2016. С. 208–211.
12. Дробильно-перегрузочная установка: пат. 2168631 Рос. Федерация. МПК7 E 21 C 41/26, B 02 C 21/02. № 98100368/03; заявл. 05.01. 98; опубл. 10.06.01. Бюл. № 16. 3 с.
13. Чиркин А. А., Кантемиров В. Д. Технологические аспекты эксплуатации передвижных дробильно-перегрузочных установок на открытых горных работах // Тяжелое машиностроение. 2003. № 8. С. 28–32.
14. Кантемиров В. Д. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз // ГИАБ. 2014. № 6. С. 369–373.

Поступила в редакцию 26 февраля 2020 года

Сведения об авторах:

Чиркин Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры мехатроники, Уральского государственного университета путей сообщения. E-mail: chirkin2013@yandex.ru
Кантемиров Валерий Даниилович – кандидат технических наук, заведующий сектором управления качеством минерального сырья Института горного дела УрО РАН. E-mail: ukrkant@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40

Rationale for mobile crushing plants design methodology

Aleksei A. Chirkin[1], Valerii D. Kantemirov[2]
[1] Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russia.
[2] Institute of Mining UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract
Introduction. *Modern mining enterprises in Russia and abroad use opencast mining on a wide scale making the best use of the cyclic-flow technology with mobile crushing plants (PDPU) of various designs.*
Research aim *is to substantiate the methodology of designing mobile crushing plants.*
Methodology*. The work of designers and constructors in choosing the type of PDPU layout scheme and elements of its design, as well as in improving the installation as a whole, is difficult due to the lack of a unified methodological approach to the design of mobile crushing plants in a modular (block) design. Multiple layout solutions in mobile crushing plants design required the formulation of general principles for such plants. PDPU structures were analyzed in the article, and the optimal layout of the plant in a modular design was substantiated as a part of the open-pit transport scheme.*
Results. *The research, including the research carried out in IM UB RAS, made it possible to develop initial requirements for such plants design. In accordance with the requirements the designers of the Uralmash Machine-Building Corporation developed the technical design of the PDPU-2000 mobile unit with a capacity of 2000 m^3/ h, consisting of three modules based on the cone crusher KKD 1500/180.*
Conclusions. *Two and three-module plants equipped with large-sized jaw and cone crushers are promising modular PDPU designs currently being developed. The transfer of installation modules to a new location is carried out using a multi-purpose tracked conveyor with a lifting capacity of up to 1000 tons. Recently, there has been an increased interest in this type of PDPU, as evidenced by the large number of patented technical solutions.*

Key words: *mobile crushing plant; cone crusher; capacity; tracked vehicle; a conveyor belt; open pit mining.*

REFERENCES

1. Iakovlev V. L. Condition, problems and method of improvement of open cast mining. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2009; 11: 11–14. (In Russ.)

2. Iakovlev V. L. Step-ahead solutions in cyclic-flow technology of deep pits. *Gornyi zhurnal = Mining Journal*. 2003; 4/5: 51–56. (In Russ.)

3. Iakovlev V. L. Some perspective trends in opencast transport study. In: *Proceedings of Internat. Science to pract. Conf. on opencast transport*. Ekaterinburg; 2002. p. 15–20. (In Russ.)

4. Faddeev B. V., Chapurin N. A. *Crushing plants in open pits*. Moscow: Nedra Publishing; 1981. (In Russ.)

5. Sassos M. P. In pit crushing and conveying systems. *Engineering and Mining Journal*. 1984; 85 (4): 46–59.

6. Muller G. Shenkung der betriebsconsten im Festgesteein – Tagebau durch Einsatz von Brecher-Band System. *Fordern und Heben*.1986; 36(8): 556–559.

7. Engineering Contractors. *Mining Magazine*. 1998; 179(2): 75.

8. Marek T. M. In-pit crushing and conveying-mine planning and operations. *Skillings Mining Review*. 1985; 74(22): 6–10.

9. Utley R. W., P. Darling (ed.) In-pit crushing. In: *SME Mining Engineering Handbook, 3rd ed. Society for Mining, Metallurgy and Exploration*. 2011. P. 941–957.

10. Londono J. G., Knights P., and Kizil M. Review of in-pit crusher conveyor (IPCC) application. In: *2012 Australian Mining Technology Conference*. 2012. P. 63–82.

11. Chirkin A. A. Experience in design and implementation of mobile crushing plants for opencast mining. In: *Process equipment for oil and gas industry: proc. of 14th Internat. Science to pract. Conf. V. R. Kubakhek Readings*. UrSMU Publishing. Ekaterinburg; 2016. p. 208–211. (In Russ.)

12. Iakovlev V. L., Chirkin A. A., Kantemirov V. D. *Crushing plant*. Patent RF no. 2168631.

13. Chirkin A. A., Kantemirov V. D. Process aspects of mobile crushing plants operation in opencast mining. *Tiazheloe mashinostroenie = Heavy Engineering*. 2003; 8: 28–32. (In Russ.)

14. Kantemirov V. D. Process flow features of new mineral bases exploitation. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2014; 6: 369–373. (In Russ.)

Received 26 February 2020

Information about authors:

Aleksey A. Chirkin – PhD (Engineering), associate professor of Mechatronics Department, Ural State University of Railway Transport (USURT), Ekaterinburg, Russia. E-mail: chirkin2013@yandex.ru

Valery D. Kantemirov – PhD (Engineering), quality management sector chief, Institute of Mining UB RAS. E-mail: ukrkant@mail.ru

Для цитирования: Чиркин А. А., Кантемиров В. Д. Обоснование методики проектирования передвижных дробильно-перегрузочных установок // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 7. С. 33–40. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40

For citation: Chirkin A. A., Kantemirov V. D. Rationale for mobile crushing plants design methodology. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 7: 33–40 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-33-40