



Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров

А.Г. Журавлёв✉, А.В. Семёнкин, В.А. Черепанов, И.А. Глебов, М.А. Чендырев
Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация
✉ juravlev@igduran.ru

Резюме: Развитие карьеров как по интенсивности их разработки, так и по существенному росту текущей и проектной глубины требует совершенствования транспортных систем, формирующих основную часть себестоимости добычи. Одним из наиболее апробированных видов комбинированного транспорта, обеспечивающего высокую производительность, является автомобильно-конвейерный. Поэтому в современных исследованиях уделяется внимание его адаптации к перспективным горнотехническим условиям (высокая динамика развития открытых горных работ с формированием глубоких карьеров, необходимость достижения глубин открытой разработки до 800–1200 м). Область применения разных видов транспорта не является статичной и изменяется вслед за техническим развитием средств транспорта, выводом их в серийное производство, изменением целевой группы горнотехнических условий эксплуатации. В статье приведена систематизация применимого в современных условиях карьерного транспорта и показан опыт Института горного дела Уральского отделения РАН в области циклично-поточной технологии, передвижных (полустационарных) дробильно-перегрузочных установок и самоходных дробильных агрегатов. Описаны результаты расчетов и технико-экономические параметры автомобильно-конвейерного транспорта в широком диапазоне горнотехнических условий. Показано, что актуальной научно-технической проблемой является разработка технологий поэтапного ввода высокопроизводительного эффективного оборудования циклично-поточного транспорта на большую глубину при минимальном дополнительном разnose бортов. При этом возможно использование как крутонаклонных, так и традиционных ленточных конвейеров в зависимости от конкретных условий эксплуатации. Конвейерный транспорт по экономичности и производительности предпочтителен для эксплуатации на основной стадии жизненного цикла глубоких карьеров, но его применение сдерживается рядом приведенных в статье факторов.

Ключевые слова: циклично-поточная технология, глубокий карьер, конвейер, мобильная дробилка, карьерный транспорт, дробилка

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания №075-00412-22 ПР. Тема 1. FUWE-2022-0005.

Для цитирования: Журавлёв А.Г., Семёнкин А.В., Черепанов В.А., Глебов И.А., Чендырев М.А. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров. *Горная промышленность*. 2022;(1S):53–62. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62.

The purpose of developing advanced in-pit crushing and conveying technology for deep open pits

A.G. Zhuravlev✉, A.V. Semenkin, V.A. Cherepanov, I.A. Glebov, M.A. Chendyrev
Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation
✉ juravlev@igduran.ru

Abstract: The development of open pits, both in terms of their mining intensity and a significant increase in the current and design depth, requires improvement of transport systems that form the bulk of the production cost. One of the most proven types of combined transport that provides high productivity is the truck-and-conveyor system. Therefore, this paper focuses on its adaptation to the future mining conditions (high dynamics of open pit mining development with creation of deep quarries, the need to reach open pit depths of up to 800–1200 m). The field of application of different types of transport is not static and changes along with the technical development of transport means, their introduction into mass production, and a change in the target group of mining and operating conditions. The article provides a systematization of open-pit transport applicable in modern conditions and shows the experience gained by the Institute of Mining of Ural branch of RAS in the in-pit crushing and conveying technology, mobile (semi-stationary) crushing and reloading plants and self-propelled crushing units. The results of calculations and technical and economic parameters of open-pit truck haulage and conveyor transport in a wide range of mining conditions are described. It is shown that an urgent research and engineering challenge is the development of technologies for the phased introduction of high-performance equipment for in-pit crushing and conveying transport to a great depth with a minimal additional extension of the open pit walls. At the same time, it is possible to use both steeply inclined and traditional belt conveyors, depending on the specific operating conditions. Conveyor transport is preferable for use at the main stage of the life cycle of deep quarries in terms of its efficiency and throughput, but its use is constrained by a number of factors considered in the paper.

Keywords: in-pit crushing and conveying technology, deep quarry, conveyor, mobile crusher, quarry transport, crusher

Acknowledgments: Studies carried out according to the State Task No.075-00412-22 PR. Topic 1. FUWE-2022-0005.

For citation: Zhuravlev A.G., Semenkin A.V., Cherepanov V.A., Glebov I.A., Chendyrev M.A. The purpose of developing advanced in-pit crushing and conveying technology for deep open pits. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.): 53–62. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-53-62.



А.Г. Журавлев,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
Института горного дела
Уральского отделения РАН



А.В. Семенкин,
младший научный сотрудник
Института горного дела
Уральского отделения РАН



В.А. Черепанов,
научный сотрудник
Института горного дела
Уральского отделения РАН



И.А. Глебов,
младший научный сотрудник
Института горного дела
Уральского отделения РАН



М.А. Чендырев,
младший научный сотрудник
Института горного дела
Уральского отделения РАН

Введение

Динамика развития открытых горных работ при разработке месторождений с формированием глубоких карьеров, необходимость достижения глубин открытой разработки 1000–1200 м требуют совершенствования технологических процессов, в частности, как одного из наиболее затратных – процесса транспортирования. При разработке месторождений площадного типа и иных со значительными размерами в плане на ближайшую перспективу рациональной будет оставаться схема автомобильно-железнодорожного транспорта. При достижении даже крупными карьерами глубин 250–400 м необходим переход на более экономичные схемы внутрикарьерного транспорта, обеспечивающие минимизацию разноса бортов под транспортные коммуникации, которые должны характеризоваться повышенными уклонами, минимальной шириной и радиусами кривизны. Традиционной и широко апробированной схемой для указанных условий является автомобильно-конвейерный транспорт. При этом, если на поверхности дальность транспортирования горной массы до отвалов или обогатительной фабрики значительна (более 2–5 км), рационально сохранять имеющееся звено железнодорожного транспорта.

Альтернативой указанной схеме для карьеров со сжатыми размерами в плане являются схемы специального стационарного (наклонные канатные подъемники [1], конвейерные поезда [2] и др.) или мобильного транспорта (гусеничные или пневмоколесные машины для крутонаклонных съездов, тоннельное вскрытие нижних горизонтов [3], троллейвозы и др.). Область применения разных видов транспорта не является статичной и изменяется вслед за техническим развитием средств транспорта, выводом их в серийное производство (что снижает стоимость и повышает доступность), изменением целевой группы горнотехнических условий эксплуатации. В табл. 1 приведена систематизация по видам карьерного транспорта с областями применения, актуальная на перспективу 20–40 лет. Следует отметить, что указанные в ней условия применения являются лишь контурами, а конкретная стратегия формирования транспортной системы карьера должна выбираться на основе оптимизации в пределах жизненного цикла в рамках парадигмы переходных процессов [4].

Анализ и технико-экономические расчеты показали, что указанные выше схемы специального транспорта либо ограничены по производительности, либо обеспечивают экономичность только за счет существенного сокращения разноса бортов (вскрышных работ), а потому могут эффективно применяться на последних стадиях жизненного цикла карьера. Для достижения же больших глубин требуется оптимизировать по затратам все его стадии.

В этой связи из известных видов транспорта по экономичности и производительности для применения на основной стадии жизненного цикла глубоких карьеров предпочтителен конвейерный транспорт. Однако его внедрение сдерживается:

- значительными капитальными затратами;
- необходимостью во многих случаях разноса борта под размещение дробильно-конвейерного комплекса (ДКК);
- необходимостью опережающей постановки участка борта карьера в конечное положение либо замораживание его на длительный период для размещения ДКК;
- длительностью наращивания конвейера в глубину карьера и переноса дробильно-перегрузочного пункта (ДПП),



что, как правило, связано с перерывом в работе ДКК и существенным ростом себестоимости в этот период;

– отсутствием комплексных схем формирования транспортных систем глубоких карьеров нового поколения (до 800–1000 м), учитывающих динамику многоэтапного развития ДКК и оптимизацию формы карьера при выдерживании оптимального режима горных работ.

Таким образом, одной из ключевых проблем при развитии технологий открытой разработки месторождений глубокими карьерами до 800 м и в перспективе до 1200 м [5] является разработка схем и оборудования для быстро наращиваемых вслед за понижением горных работ дробильно-конвейерных комплексов. Затраты на транспортирование можно значительно снизить, если разместить дробильно-перегрузочные пункты внутри карьеров [6]. Стационарные дробильно-перегрузочные установки имеют ряд недостатков, например, отсутствие возможности переноса ДПУ на новое место при углублении горных работ; огромные капиталовложения для строительства ДПУ на новом месте. Для достаточно быстрого переноса ДПУ возможно применение полустационарных или мобильных установок [7–10].

Экономическая эффективность и высокая надежность полумобильных или комбинированных внутрикарьерных дробильно-конвейерных установок и перегрузочных

систем по сравнению с традиционными системами экскаваторно-автомобильных комплексов делают их более привлекательными для использования в современных условиях. Одним из основных вопросов применения этих систем является определение оптимального местоположения дробильно-конвейерного комплекса и сроков его перемещения [11]. К настоящему времени выделяются 4 наиболее рациональные технологические схемы внутрикарьерных комплексов:

– стационарные капитально устраиваемые ДКК (конвейер наращивается 1–2 раза, при этом ДПП первой стадии могут сохраняться в работе даже после ввода новых и используются для перемещения в том числе вскрышных пород);

– полустационарные металлические дробильно-перегрузочные установки на несущих металлоконструкциях, предполагающие 1–2 перемещения за жизненный цикл;

– передвижные (полумобильные) дробильно-перегрузочные установки (перемещаемые крупномодульно с минимальным объемом демонтажных работ специальными транспортерами до 1–2 раз в год);

– самоходные дробильные установки, обеспечивающие высокую динамику подвигания и пригодные для применения непосредственно в забоях.

Для рассматриваемых в статье технологий могут подойти последние три из перечисленных типов. В части

Таблица 1
Систематизация применимого в современных условиях карьерного транспорта

Table 1
Systematization of the open-pit transport applicable in current conditions

Вид	Группа	Разновидность	Условия применения
Автомобильный транспорт	Серийный автотранспорт	Карьерные автосамосвалы 4x2	Сборочный транспорт в рабочей зоне карьера, до 4–6 км, при любой производительности
	Специализированный пневмоколесный транспорт	Дизель-троллейбусы, троллейно-аккумуляторные самосвалы	В монотранспортных системах сборочно-магистральный транспорт. До 10–12 км. От 10 млн т/год
		Полноприводные самосвалы	При вскрытии части горизонтов или небольших месторождений крутонаклонными съездами или тоннелями. До 4–6 км. До 10–15 млн т/год
		Гусеничные самосвалы	При вскрытии части горизонтов карьера или на всю глубину небольших месторождений крутонаклонными съездами – до 1,5–2 км. До 10 млн т/год
Железнодорожный транспорт	Широкой колеи		Магистральный транспорт на верхних горизонтах и за пределами карьера – от 5 млн т/год. От 3–5 км и более
Конвейерный транспорт	Стандартные с наклоном до 18°	Ленточные	Магистральный транспорт с предварительным дроблением. Высота подъема от 100 до 300–400 м, при специальных схемах вскрытия – до 700–800 м. От 5 млн т/год
		Канатно-ленточные	То же, от 8–10 млн т/год
		С лентой на колесных подвижных опорах (подвесные, ленточно-тележечные)	Магистральный транспорт с предварительным дроблением при сложном рельефе. От 5–10 млн т/год
	Крутонаклонные	С прижимной лентой	Магистральный транспорт с предварительным дроблением с крупностью <150–300 мм, 5–30 млн т/год, Нп >100 м
		Трубчатые	То же с крупностью <150–300 мм, 5–20 млн т/год
		С ячеистой лентой	То же с крупностью < 200–250 мм, 5–25 млн т/год преимущественно породы малой и средней прочности и плотности
Стационарный транспорт (специальный)	Конвейерные поезда	Легкого типа	Магистральный транспорт без предварительного дробления, от 1–5 млн т/год. До 10–12 км
		Тяжелого типа	Магистральный транспорт без предварительного дробления, до 10–12 млн т/год, 1–2 переноса ПП, Нп >300–350 м
	Карьерные наклонные канатные подъемники	Автомобильные подъемники	То же, Нп >250–300 м
		Скиповые подъемники	То же, Нп >200 м
		Канатно-вагонеточные подъемники	То же, многократный перенос ПП, Нп >200 м

Нп – высота подъема. ПП – перегрузочный пункт. В километрах указано рациональное расстояние транспортирования

развития комплексов оборудования ДКК с 1960-х годов выполнен большой объем исследований [12]. Самоходные дробильные агрегаты в СССР берут свою историю с СДА-300. К 1972 г. введен в эксплуатацию СДА-1000 (производительностью 1000 т/ч), изготовленный на Ижорском заводе (рис. 1). Они были разработаны по техническому заданию ИГД МЧМ СССР (в настоящее время ИГД УрО РАН) и проходили опытно-промышленную эксплуатацию на Тургоякском месторождении флюсовых известняков (г. Миасс Челябинской области), продемонстрировав улучшение показателей: производительности труда выше в 3,5–4 раза, себестоимости известняка ниже на 25–35%.

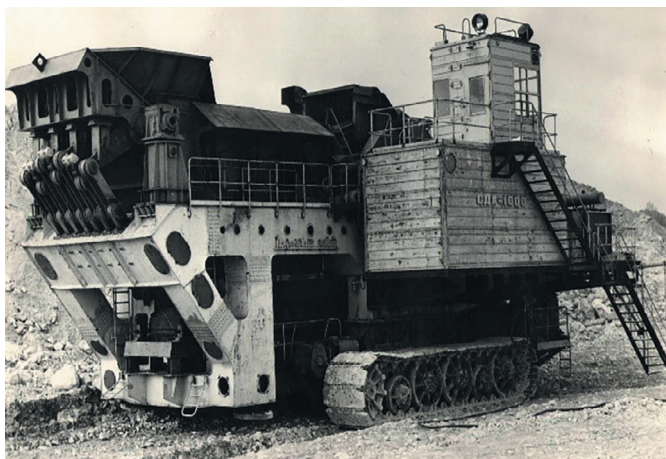
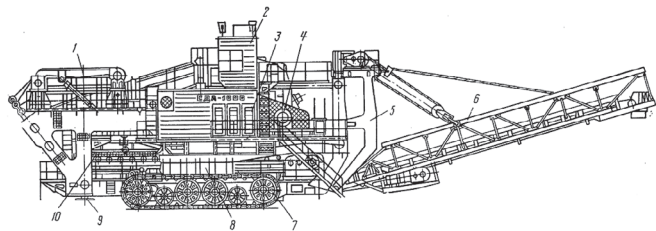


Рис. 1
Эскиз-задание, разработанное ИГД МЧМ СССР (в настоящее время ИГД УрО РАН), и опытный образец, изготовленный Ижорским заводом, самоходного дробильного агрегата «СДА-1000» (1967–1972 гг.):
1 – контрольная колосниковая решетка;
2 – кабина оператора;
3 – кузов под электрооборудование;
4 – дробилка СМД-87 с приводом;
5 – поворотное устройство;
6 – консольный конвейер;
7 – гусеничный ход;
8 – рама агрегата;
9 – опорные гидродомкраты;
10 – питатель пластинчатый

Fig. 1
A sketch design of the SDA-1000 self-propelled crushing unit developed by the Mining Institute of the USSR Ministry of Iron and Steel Industry (currently the Institute of Mining of Ural Branch of RAS) and its prototype manufactured by Izhorskiy Zavod (1967-1972):
1 – control grizzly;
2 – operator's cabin;
3 – superstructure for the electric equipment;
4 – SMD-87 crusher with its drive; 5 – turning device;
6 – console conveyor;
7 – crawler tracks;
8 – main frame of the unit;
9 – hydraulic supporting jacks; 10 – apron feeder

Широкое развитие ЦПТ на железорудных карьерах в 1980-е годы потребовало разработки более мощных комплексов, способных перерабатывать прочные и абразивные руды. В конце 1980-х годов опытно-промышленный участок ЦПТ был сооружен на Северном карьере Качканарского ГОКа для определения эффективности и надёжности оборудования в различных схемах ЦПТ при добыче скальной железной руды. В размещённое оборудование входили дробильный агрегат СДА-3 со встроенной дробил-

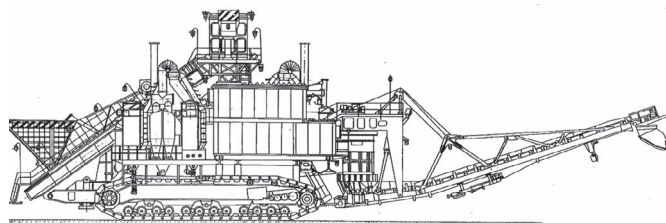


Рис. 2
Самоходный дробильный агрегат СДА-3 на опытно-промышленном участке ЦПТ

Fig. 2
The SDA-3 self-propelled crushing unit at the In Pit Crushing and Conveying (IPCC) technology test site

кой ШДП-12x15 (рис. 2), самоходный загрузочный бункер, забойный, два магистральных и отвальный конвейеры, самоходный перегружатель СП-1000.

Для высокопроизводительных железорудных комплексов ИГД УрО РАН (в то время ИГД МЧМ СССР) были разработаны технологические задания на разработку передвижных ДПУ-2000 (рис. 3) с производительностью до 2000 м³/ч на базе конусных дробилок ККД-1500/180. Проект такой установки позже был разработан Уралмашзаводом [13].

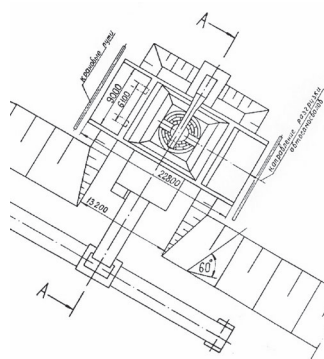
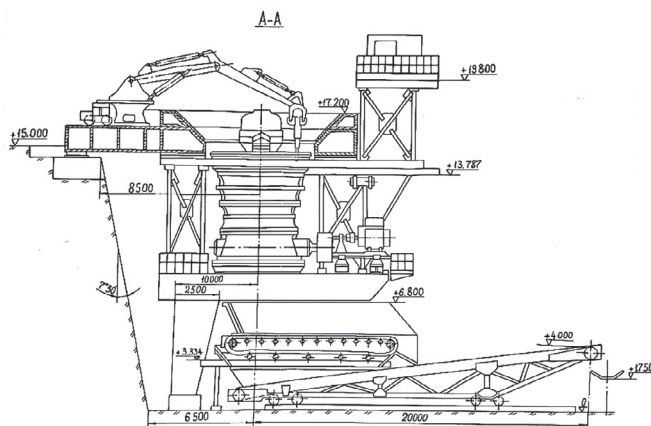


Рис. 3
Исходные требования на разработку передвижной модульной дробильно-перегрузочной установки ДПУ-2000 (ИГД УрО РАН), 1991 г.

Fig. 3
Terms of reference for designing the DPU-2000 mobile modular crushing and reloading unit (Institute of Mining of Ural Branch of RAS), 1991



Накопленный опыт реализуется в настоящее время совместно ПАО «Уралмашзавод» и ИГД УрО РАН при проектировании современных дробильно-перегрузочных пунктов. Так, большой комплекс будет построен на Михайловском ГОКе с использованием комплектной дробильно-перегрузочной установки ДПУ-7200 производительностью 7200 т/ч (рис. 4).

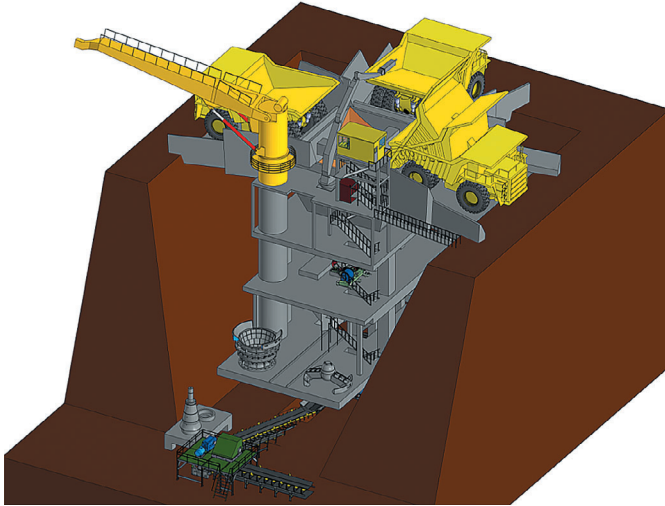


Рис. 4
Общая компоновка разработанной ИГД УрО РАН совместно с ПАО «Уралмашзавод» полустационарной дробильно-перегрузочной установки производительностью 7200 т/ч

Fig. 4
A general layout of a semi-stationary crushing and transfer unit with a capacity of 7200 t/h jointly developed by Institute of Mining of Ural Branch of RAS and Uralmashplant JSC

Таким образом, на сегодняшний день имеются широкие возможности по созданию высокопроизводительного эффективного оборудования ЦПТ. Актуальной научно-технической проблемой является разработка технологий поэтапного ввода ЦПТ на большую глубину при минимальном дополнительном разnose бортов.

Методы исследований

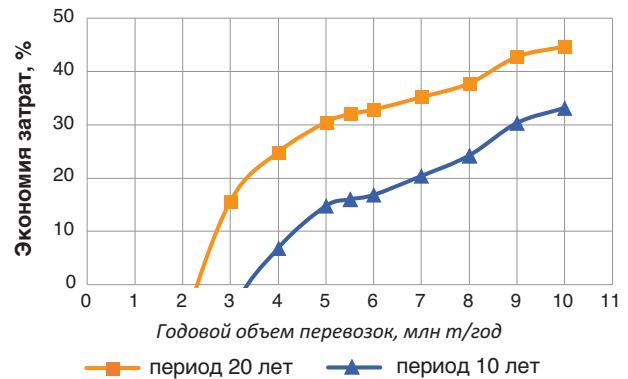
Технико-экономические расчеты выполняются в соответствии с методиками, разработанными в ИГД УрО РАН [14]. Разработка схем формирования карьерного пространства осуществляется с использованием трехмерного компьютерного моделирования в программном комплексе MINEFRAME [15]. Расчет параметров автомобильного транспорта выполняется с применением компьютерного моделирования движения автосамосвалов в программах «Самосвал» и «Транспортная система карьера» ИГД УрО РАН [16].

Результаты исследований

Эффективность применения ЦПТ определяется при сопоставлении *экономию затрат* в сравнении с альтернативными вариантами транспорта и *срока окупаемости инвестиций*. Если ЦПТ заложена в проекте заблаговременно, развитие комплекса предусмотрено с учетом всего жизненного цикла карьера, то допустим больший срок окупаемости, чем при внедрении в уже действующем карьере, поскольку суммарный эффект выше, а график инвестиций в ДКК спланирован более рационально на длительный промежуток времени. С учетом этого теоретически

возможно экономически эффективное применение ЦПТ даже при минимальной годовой производительности от 3 млн т в расчете на срок окупаемости в 10–20 лет. На рис. 5 приведен эффект от замены автомобильного транспорта на автомобильно-конвейерный с крутонаклонным конвейером (КНК) с прижимной лентой. В отличие от известных уникальных технико-технологических решений КНК, например, приведенных в исследованиях [17–19], рассматривается область с невысокой производительностью, для которой могут применяться схемы, изложенные в [20]. Видно, что при объемах перевозок 5–10 млн т/год имеется область с достаточно стабильной эффективностью. При объемах менее 5 млн т/год наблюдается резкое снижение эффекта, причем конкретный предел окупаемости затрат зависит от горнотехнических условий. Тем не менее указанная область при специальных технических и технологических решениях может быть включена в область эффективного применения ЦПТ.

а) Суммарная экономия затрат за период



б) Срок окупаемости

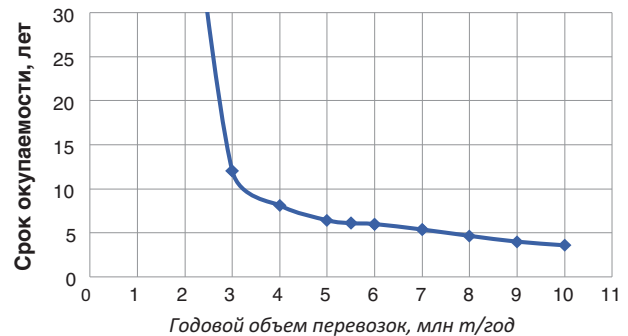
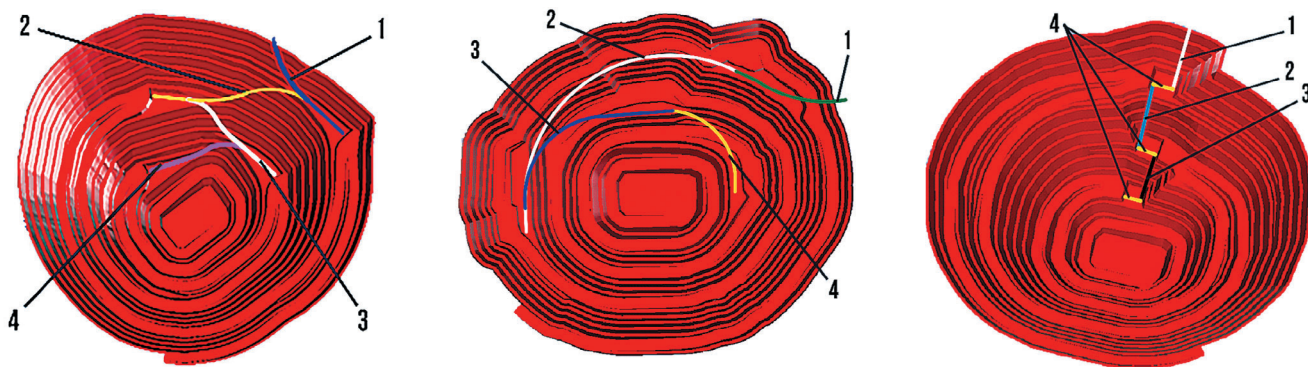


Рис. 5
Экономический эффект от использования рудного комплекса ЦПТ с крутонаклонным конвейером с прижимной лентой в сравнении с автомобильным транспортом при высоте подъема 400 м в условиях алмазорудного карьера

Fig. 5
Economic effect of using the IPCC technology with a steeply inclined conveyor with a pressure belt as compared to truck haulage at a 400 m ascent height in conditions of a diamond open pit

Для реализации этого потенциала необходимы специальные технические и технологические решения:

- приближение ДПП к месту ведения горных работ;
- применение конвейеров минимальной металлоемкости и массы с оптимизированной стоимостью оборудования и строительно-монтажных работ;
- минимизация размеров ДПП.



а) Трубчатый конвейер, петлевая схема автосъездов

б) Трубчатый конвейер, спиральная схема автосъездов

в) Конвейер с прижимной лентой при размещении подъемников ДКК в шахматном порядке и спиральными автосъездами

Рис. 6
Модели карьеров с размещением крутонаклонных конвейеров (цифрами обозначены отдельные конвейеры в порядке ввода в эксплуатацию)

Fig. 6
Open pit models with placement of steeply inclined conveyors (numbers indicate individual conveyors in order of their commissioning)

Подобные решения преимущественно могут быть реализованы при разработке пород низкой и средней прочности (коэффициент крепости до 10, в отдельных случаях – до 16 по шкале М.М. Протодяконова), что позволяет применять компактные дробилки – валковые либо щековые. Дробильно-перегрузочные установки для данных условий должны быть передвижные с высотой встраивания в уступ не более 15 м, состоящие из модулей: приёмного бункера-питателя, дробилки, передаточного конвейера. Разгрузка породы из-под дробилки должна осуществляться непосредственно на конвейер через течку колосниковой или иного типа, обеспечивающую бережную выгрузку на ленту конвейера. Благодаря этому в отдельных случаях ДПУ могут располагаться непосредственно над магистральным конвейером.

Весьма сложной является задача разработки схемы формирования карьерного пространства с непрерывным поэтапным развитием ЦПТ с наращиванием конвейера и переносом ДПУ. Особой задачей является обеспечение долгосрочного функционирования ДКК, в том числе за счет выполнения основного объема горноподготовительных и строительно-монтажных работ по наращиванию конвейерной линии в период функционирования вышележащей части ДКК.

В случае с крутонаклонными конвейерами шаг переноса ДПУ по глубине ограничивается с нижней стороны неэффективностью сооружения ряда подъемников малой высоты из-за значительной протяженности хвостовых частей, что увеличивает капитальные затраты, продолжительность работ по наращиванию, но не ведет к существенному снижению себестоимости транспортирования. В этом случае шаг переноса по рассматриваемым схемам должен составлять 60–120 м. Возможность выполнения горно-капитальных и строительно-монтажных работ по наращиванию конвейерного подъемника предлагается осуществлять за счет петлевой схемы развития конвейерной линии. Результаты моделирования карьера по вариантам, приведенным на рис. 6, показали, что наименьшим разносом бортов под размещение ДКК характеризуется схема со спиральной формой автомобильной трассы и продольным расположением ДПП (схема «б») (табл. 2). Вариант с размещением ДПП при совмещении с разворотными площадками петлевых автосъездов (схема «а»), хотя и

Таблица 2
Увеличение объема карьера при использовании ЦПТ с крутонаклонными конвейерами в сравнении с вариантом вскрытия спиральными автомобильными съездами

Table 2
Increase in the volume of the open pit when using IPCC technology with steeply inclined conveyors as compared to the option of spiral motorized ramps

Глубина карьера, м	Увеличение объема карьера за счет выработок под размещение ДКК, %		
	Схема «а»	Схема б»	Схема «в»
540	15,4	7,2	10,3
360	13,9	6,8	8,5
270	11,8	5,4	6,6
180	5	2,3	4,8

Примечание: схемы указаны в соответствии с рис. 6

требует увеличения объема горно-капитальных работ в сравнении с карьером, вскрытым спиральными автомобильными съездами, является менее сложным из-за отсутствия пересечений конвейеров с автодорогами и может использоваться для карьеров, где в базовом варианте по горно-геологическим условиям предусматривается петлевая форма автомобильной трассы.

Традиционные ленточные конвейеры (ЛК) с углом наклона до 16–18° могут наращиваться с меньшим шагом – 30–60 м по глубине – благодаря более простой конструкции (в т.ч. с удлинением ленты), меньшей длине хвостовых частей. Это позволяет более динамично подвигать ДПП к зоне ведения горных работ и поддерживать наименьшую дальность транспортирования автосамосвалами, минимизируя затраты.

Критическим ограничивающим фактором для применения ЛК является необходимость разноса бортов под ДКК. Его возможно минимизировать при совмещении полутраншеи конвейера с бермами очистки [21]. Эффект от внедрения указанной схемы приведен на рис. 7. Такая схема не универсальна ввиду ограниченности ширины полутраншеи, что усложняет строительство и обслуживание конвейера, а кроме того, усложняет места пересечения конвейера с автомобильными съездами. Тем не менее в определенной группе горнотехнических условий она обеспечивает значительный экономический эффект, как

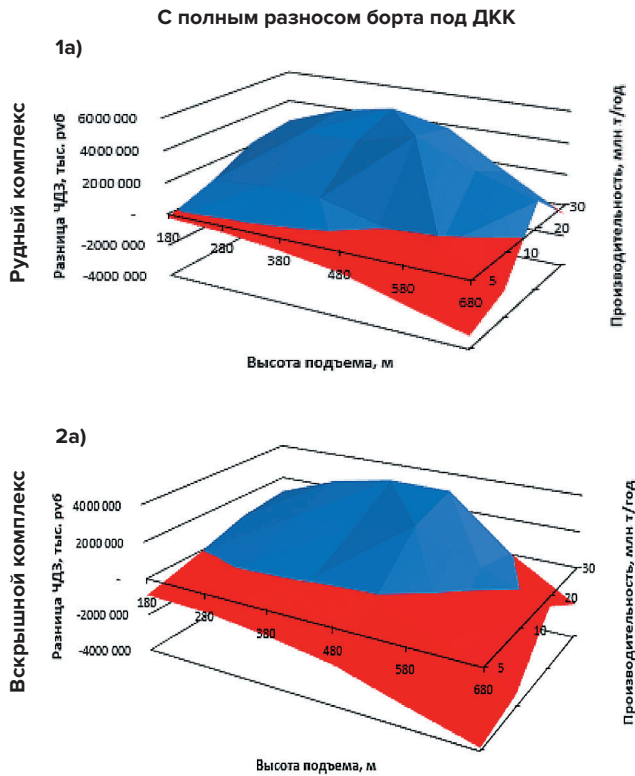


Рис. 7
Сравнение дисконтированных затрат по вариантам автомобильно-конвейерного (традиционные ленточные конвейеры) и автомобильного транспорта (синим цветом показана зона преимущества ЦПТ)

Fig. 7
Comparison of discounted costs for the truck-and-conveyor (conventional belt conveyors) and truck haulage options (blue color shows the advantage zone of the IPCC technology)

показано в сопоставлении на рис. 7. К таким условиям относятся: карьеры вытянутой формы (возможно разместить конвейер по длинному борту карьера и завести на значительную глубину), карьеры с петлевыми автомобильными съездами (возможно разделить по разным бортам карьера конвейерную линию и автодороги).

Из рис. 7 видно, что вскрышной комплекс для улучшения технико-экономических показателей должен применяться при больших объемах транспортирования, чем рудный комплекс, что связано с покрытием непроизводительных затрат на дробление пустых пород, которые в случае с рудой компенсируются отсутствием крупного дробления на обогательном переделе. Также результаты расчетов показывают, что при традиционных схемах размещения ДКК с разносом борта эффективность ЦПТ имеет максимум при высоте подъема горной массы 250–400 м, а на значительных глубинах снижается, что объясняется критическим возрастанием затрат на горно-капитальные работы. Применение специальных схем с минимальным разносом бортов снимает это ограничение, что говорит о теоретической возможности применения конвейерного транспорта в карьерах глубиной до 800–1200 м. При этом ввод конвейера на глубину более 700–800 м вряд ли целесообразен, поскольку с глубиной снижаются объемы извлекаемой горной массы и не позволяют окупить значительные инвестиции в дробильно-конвейерный комплекс. Это видно из колонки «б» рис. 7 – эффект стремится к «0» при объемах перевозки менее 0–15 млн т/год, поэтому отработку нижних горизонтов необходимо предусматривать специальными схемами вскрытия с минимальным разносом бортов: крутонаклонные автомобильные съезды [22], законтурные тоннели [23] или др.

Выводы

1. Разработка месторождений открытым способом на глубинах 800–1200 м требует максимального снижения затрат на добычу и прежде всего на транспортирование горной массы. Этого можно достичь поэтапной трансформацией транспортной системы и схемы вскрытия новых горизонтов по мере понижения горных работ. При этом необходимо использование максимально дешевого вида транспорта на протяжении основной стадии жизненного цикла карьера. Это возможно путем применения автомобильно-конвейерного транспорта на большую глубину.

2. Применение традиционных ленточных конвейеров в глубоких карьерах ограничено высотой подъема 400–500, что связано с возрастающими затратами на горно-капитальные работы с глубиной. Внедрение специальных схем размещения дробильно-конвейерных комплексов с минимальным разносом бортов карьера позволяет значительно увеличить эффективную глубину ввода конвейерного транспорта, однако с учетом падения объемов добычи с понижением горных работ этот предел составляет порядка 700 м для известных конструкций.

3. Применение ЦПТ с крутонаклонными конвейерами обеспечивает большую экономию по сравнению с традиционными ленточными конвейерами, однако их применение для максимального снижения себестоимости транспортирования и достижения глубины открытой разработки месторождений в 800–1200 м требует развития специальных схем формирования карьерного пространства во взаимосвязи с размещением дробильно-конвейерного комплекса при поддержании минимального расстояния доставки автосамосвалами.



4. Требуют дальнейшего развития проводимые ИГД УРО РАН исследования с внедрением их в комплексных моделях и программных комплексах по оптимизации открытых горных работ:

– разработка рациональных компоновочных схем передвижных модульных дробильно-перегрузочных установок с минимальной высотой и объемом строительных работ при установке в карьере;

– исследование условий эффективного применения схем ЦПТ и оптимизация их основных технологических параме-

тров с учетом динамики развития горных работ и оценки надежности применяемых комплексов оборудования;

– исследование вопросов селективной добычи и усреднения руды при ЦПТ, отдельной выдачи руды и вскрышных пород через ДКК;

– разработка экономико-математических моделей и обоснование стоимостных параметров при проектировании перспективных схем ЦПТ карьеров глубиной до 800–1200 м.

Список литературы

1. Чендырев М.А., Журавлев А.Г. Техничко-экономические параметры транспортирования горной массы из карьера автомобильным наклонным карьерным подъемником. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2018;1(1):33–36. Режим доступа: https://chermetinfo.elpub.ru/jour/article/view/829?locale=ru_RU
2. Nel V., Pretorius A. *IBR underground mining conference Phakisa mine*. Rail-veyor; 2013. 51 p. Available at: <https://www.harmony.co.za/invest/presentations/2013/send/81-2013/522-ibr-underground-mining-conference>
3. Черепанов В.А. Глебов И.А. Факторы, влияющие на схему вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением наклонных подземных выработок. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(3-1):351–367. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367>
4. Яковлев В.Л. *Исследование переходных процессов – новое направление в развитии методологии комплексного освоения георесурсов*. Екатеринбург: УРО РАН; 2019 284 с.
5. Акишев А.Н. Бокий И.Б., Зырянов И.В. К вопросу развития геотехнологии открытой разработки алмазородных месторождений. В кн.: Чemezov Е.Н. (ред.) *Совершенствование технологии горных работ и подготовка кадров для обеспечения техноферной безопасности в условиях северо-востока России: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием, посвященной 80-летию д.т.н., проф., действительного члена Академии горных наук РФ Чemezова Егора Николаевича, г. Якутск, 25 апреля 2018 г.* Якутск: Изд. дом СВФУ; 2018. С. 267–274.
6. Osanloo M., In-pit crushing and conveying technology in open-pit mining operations: a literature review and research agenda. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2020;34(6):430–457. <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1565054>
7. Argimbaev K.R., Maya B.O. The experience of the introduction of mobile crushing and screening complexes on a deposit of building materials. *Research Journal of Applied Science*. 2016;11(6):300–303. Available at: <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=rjas.ci.2016.300.303>
8. Fisher T. Stationary and semi-mobile crushing plants – a comparison: Theoretical considerations. *Cement International*. 2017;15(4):66–69.
9. Abbaspour H., Drebenshtedt C., Parisheh M., Ritter R. Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*. 2019;33(5):297–317. <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1435968>
10. Annakulov T.J., Zairov Sh.Sh., Kuvondikov O.A. Justification, selection and calculation of technological parameters of equipment kits of mobile crushing-reloading-conveyor complexes. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2019;6(2):8072–8079. Available at: <http://ijarset.com/upload/2019/february/11-IJARSET-Sohib-1.pdf>
11. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. In-pit crusher location as a dynamic location problem. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017;117(6):599–607. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2017/V117N6A11>
12. Волотковский В.С., Кармаев Г.Д., Драя М.И. *Выбор оборудования карьерного конвейерного транспорта*. М.: Недра; 1990. 192 с.
13. Груздев А.В., Осадчий А.М., Фурин В.О. Стационарные и полустационарные дробильно-перегрузочные установки ОАО «Уралмашзавод». *Горная промышленность*. 2012;(4):98–104. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/8223-statsionarnye-i-polustatsionarnye-drobilno-peregruzochnye-ustanovki-oao-uralmashzavod>
14. Кармаев Г.Д., Глебов А.В. *Выбор горнотранспортного оборудования циклично-поточной технологии карьеров*. Екатеринбург: ИГД УРО РАН; 2012. 296 с.
15. Лукичев С. В., Наговицын О. В. Цифровое моделирование при решении задач открытой и подземной горной технологии. *Горный журнал*. 2019;(6):51–55. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.06.06>
16. Бахтурин Ю.А., Журавлев А.Г., Трофименко Л.А. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ*. 2012617844 Российская Федерация. Транспортная система карьера (ТСК). 2012615505; заявл. 03.07.12; опубл. 30.08.12.
17. Сытенков В.Н., Бычихина Д.А. Определение рациональной глубины ввода циклично-поточной технологии при освоении месторождений твердых полезных ископаемых. *Рациональное освоение недр*. 2014;(1):30–33.
18. Атакулов Л.Н., Шешко О.Е. Повышение экономической эффективности работы крутонаклонного конвейера КНК-270 Навоийского горно-металлургического комбината. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(5):181–188. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-05-0-181-188>



19. Макарова А.С., Телегина О.В. Перспектива установки крутонаклонного конвейера на Михайловском горно-обогатительном комбинате и определение его главных характеристик. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018;(5):178–183. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-5-0-178-183>
20. Yakovlev V.L., Bersenev V.A., Glebov A.V., Kulniyaz S.S., Marinin M.A. Selecting cyclical-and-continuous process flow diagrams for deep open pit mines. *Journal of Mining Science*. 2019;55(5):783–788. <https://doi.org/10.1134/S106273911905615X>
21. Берсенева В.А., Кармаев Г.Д., Семенкин А.В., Сумина И.Г. Схемы циклично-поточной технологии при различном залегании месторождений полезных ископаемых (обзор применяемых и предлагаемых схем ЦПТ). *Проблемы недропользования*. 2018;(4):13–21. Режим доступа: <https://trud.igduran.ru/edition/19/2>
22. Акишев А.Н., Зырянов И.В., Шубин Г.В., Тарасов П.И., Журавлев А.Г. Технично-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазородных карьеров. *Горный журнал*. 2012;(12):39–43. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/987/article/15601/>
23. Зырянов И.В., Акишев А.Н., Бокий И.Б., Бондаренко И.Ф. Инновации при проектировании алмазородных карьеров в криолито-зоне. *Горная промышленность*. 2018;(5):66–69. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-5-141-66-69>

References

1. Chendyrev M.A., Zhuravlev A.G. The Technical and Economic Parameters of the Transportation of the Mined Rock from the Open Pit Using the Inclined Automotive Open-Pit Elevator. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2018;1(1):33–36. (In Russ.) Available at: https://chermetinfo.elpub.ru/jour/article/view/829?locale=ru_RU
2. Nel B., Pretorius A. *IBR underground mining conference Phakisa mine*. Rail-veyor; 2013. 51 p. Available at: <https://www.harmony.co.za/invest/presentations/2013/send/81-2013/522-ibr-underground-mining-conference>
3. Cherepanov V.A., Glebov I.A. Factors influencing the opening scheme deep horizons of quarries with the use of sloping underground transport development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):351–367. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367>
4. Yakovlev V.L. *The study of transition processes is a new direction in the development of the methodology of integrated development of geo-resources*. Ekaterinburg: Institute of Mining of Ural Branch of RAS; 2019. 284 p. (In Russ.)
5. Akishev A. N., Bokiyy I. B., Zyryanov I. V. On the development of geotechnology for open-cast mining diamond deposits. In: Chemezov E.N. (ed.) *Improvement of mining technologies and training of personnel for technosphere safety in conditions of the North-East Russia, Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation devoted to 80th anniversary of Egor Chemezov, Doctor of Technique, Professor, full member of Mining Academy, Yakutsk, 25 April 2018*. Yakutsk: North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosova; 2018, pp. 267–274. (In Russ.)
6. Osanloo M., In-pit crushing and conveying technology in open-pit mining operations: a literature review and research agenda. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2020;34(6):430–457. <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1565054>
7. Argimbaev K.R., Maya B.O. The experience of the introduction of mobile crushing and screening complexes on a deposit of building materials. *Research Journal of Applied Science*. 2016;11(6):300–303. Available at: <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=rjas.ci.2016.300.303>
8. Fisher T. Stationary and semi-mobile crushing plants – a comparison: Theoretical considerations. *Cement International*. 2017;15(4):66–69.
9. Abbaspour H., Drebenshtedt C., Parisheh M., Ritter R. Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem. *International Journal of Mining Reclamation and Environment*. 2019;33(5):297–317. <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1435968>
10. Annakulov T.J., Zairov Sh.Sh., Kuvondikov O.A. Justification, selection and calculation of technological parameters of equipment kits of mobile crushing-reloading-conveyor complexes. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2019;6(2):8072–8079. Available at: <http://ijarset.com/upload/2019/february/11-IJARSET-Sohib-1.pdf>
11. Paricheh M., Osanloo M., Rahmanpour M. In-pit crusher location as a dynamic location problem. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017;117(6):599–607. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2017/V117N6A11>
12. Volotkovsky V.S., Karmaev G.D., Draya M.I. *Selection of equipment for quarry conveyor transport*. Moscow: Nedra; 1990. 192 p. Ė (In Russ.)
13. Gruzdev A.V., Osadchy A.M.1, Furin V.O. Stationary and transportable crushing-handling plants manufactured by Uralmashplant. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2012;(4):98–104. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/drobilka/8223-statsionarnye-i-polustatsionarnye-drobilno-peregruzochnye-ustanovki-oao-uralmashzavod>
14. Karmaev G.D., Glebov A.V. *Selection of mining and transport equipment for cyclic-flow technology of quarries*. Ekaterinburg: Institute of Mining of Ural Branch of RAS; 2012. 296 p. (In Russ.)
15. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V. Digital simulation in solving problems of surface and underground mining technologies. *Gornyy Zhurnal*. 2019;(6):51–55. <https://doi.org/10.17580/gzh.2019.06.06>
16. Bakhturin Yu.A., Zhuravlev A.G., Trofimenko L.A. *Certificate of state registration of a computer program*. 2012617844 Russian Federation. Quarry Transport System (QTS). 2012615505; application 03.07.12; publ. 30.08.12. (In Russ.)
17. Sytenkov V.N., Bychikhina D.A. Calculation of a feasible mining depth for the introduction of cyclic-continuous technology for solid mineral deposit development. *Ratsionalnoe osvoenie nedr = Mineral Mining & Conservation*. 2014;(1):30–33. (In Russ.)
18. Atakulov L.N., Sheshko O.E. Improvement of economic efficiency of the high-angle conveyor knk-270 at Navoi mining and metallurgical combinat. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(5):181–188. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-05-0-181-188>
19. Makarova A.S., Telegina O.V. Installation prospects and characterization of steep angle conveyor belt at mikhailovsky mining and processing plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018;(5):178–183. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-5-0-178-183>



20. Yakovlev V.L., Bersenev V.A., Glebov A.V., Kulniyaz S.S., Marinin M.A. Selecting cyclical-and-continuous process flow diagrams for deep open pit mines. *Journal of Mining Science*. 2019;55(5):783–788. <https://doi.org/10.1134/S106273911905615X>
21. Bersenev V.A., Karmayev G.D., Semenkin A.V., Sumina I.G. Schemes of cyclic-flow technology by various bedding of mineral deposits (Reviewing of existing and proposed schemes of CFT) *Problemy nedropolzovaniya*. 2018;(4):13–21. (In Russ.) Available at: <https://trud.igduran.ru/edition/19/2>
22. Akishev A.N., Zyryanov I.V., Shubin G.V., Tarasov P.I., Zhuravlev A.G. Technical and engineering complex for the reserves improvement on the deep horizons of diamondiferous open pits. *Gornyi Zhurnal*. 2012;(12):39–43. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/989/article/15632/>
23. Zyryanov I.V., Akishev A.N., Bokiya I.B., Bondarenko I.F. Innovations in diamond mine planning in a permafrost zone. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2018;(5):66–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2018-5-141-66-69>

Информация об авторах

Журавлев Артем Геннадиевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: juravlev@igduran.ru

Семенкин Александр Владимирович – младший научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Черепанов Владимир Александрович – научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: transport@igduran.ru

Глебов Игорь Андреевич – младший научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: i.glebov@igduran.ru

Чендырев Михаил Андреевич – младший научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: chendyrev@igduran.ru

Information about the authors

Artem G. Zhuravlev – Cand. Sc. (Eng), Laboratory Chief, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: juravlev@igduran.ru

Aleksandr V. Semenkin – Junior Research Fellow, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

Vladimir A. Cherepanov – Scientific Researcher, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: transport@igduran.ru

Igor A. Glebov – Junior Research Fellow, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: i.glebov@igduran.ru

Mikhail A. Chendyrev – Junior Research Fellow, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: chendyrev@igduran.ru

Article info

Received: 10.10.2021

Revised: 25.10.2021

Accepted: 26.10.2021

Информация о статье

Поступила в редакцию: 10.10.2021

Поступила после рецензирования: 25.10.2021

Принята к публикации: 26.10.2021