

## ПРОГНОЗ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ КРУТОНАКЛОННЫХ КОНВЕЙЕРОВ

А. В. Семенкин<sup>1</sup>, А. Г. Журавлев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,  
Екатеринбург, Россия

**Аннотация:** Статья посвящена вопросу применения циклично-поточной технологии на базе крутонаклонного конвейера (КНК) с прижимной лентой на карьерах. Углубление карьеров ведет к ухудшению горнотехнических условий и увеличению затрат на транспортирование горной массы, которые занимают значительную часть от стоимости добычи полезного ископаемого. Перспективным способом подъема горной массы является применение циклично-поточной технологии. Так как использование традиционных ленточных конвейеров имеет ряд проблем, необходимы наличие прямолинейного участка борта карьера для размещения конвейера, большие капитальные затраты на горно-подготовительные работы, а в случае разноса борта требуется выемка дополнительных объемов вскрышных пород, что ведет к огромным затратам. Следовательно обоснование экономически эффективной области применения комплексов циклично-поточной технологии на базе крутонаклонного конвейера с прижимной лентой в сравнении с экскаваторно-автомобильным комплексом, трубчатым крутонаклонным конвейером, а также традиционным ленточным, является актуальной задачей. Приведена схема крутонаклонного конвейера с прижимной лентой, а также примеры его применения на карьерах. В результате исследования установлены параметры комплексов циклично-поточной технологии на базе крутонаклонного конвейера с прижимной лентой, на базе традиционного ленточного конвейера (ЛК) и экскаваторно-автомобильного комплекса при различных технологических параметрах (высота подъема горной массы от 180 до 680 м, годовая производительность комплексов от 5 до 30 млн т/год). Показано изменение чистых дисконтированных затрат в зависимости от горнотехнических параметров в случае выбора циклично-поточной технологии (ЦПТ) с крутонаклонным конвейером или экскаваторно-автомобильного комплекса, а также циклично-поточной технологии с крутонаклонным конвейером или циклично-поточной технологии с ленточным конвейером. Установлена область наиболее экономичного применения циклично-поточной технологии на базе крутонаклонного конвейера с прижимной лентой в сравнении с экскаваторно-автомобильным комплексом, с ленточным конвейером и трубчатым крутонаклонным конвейером.

**Ключевые слова:** циклично-поточная технология, крутонаклонный конвейер, технико-экономическое сравнение, экскаваторно-автомобильный комплекс, дробильно-перегрузочная установка, ленточный конвейер, трубчатый конвейер.

**Благодарность:** Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075–00581–19–00. Тема №0405–2019–0005

**Для цитирования:** Семенкин А. В., Журавлев А. Г. Прогноз сравнительных областей применения крутонаклонных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–2. – С. 322–337. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_322.

---

## Forecast and comparison of application areas of high-angle conveyors

A. V. Semenkin<sup>1</sup>, A. G. Zhuravlev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

---

**Abstract:** The article discusses application of cyclical-and-continuous technology using high-angle pressure-belt conveyors in open pit mines. The increase in the pit depth leads to the worsening of mining conditions and to the higher expenses connected with haulage, which constitute a significant part of the cost of mining. The promising method of broken rock haulage is the use of cyclical-and-continuous technology. The operation of the conventional belt conveyors needs straight portions of pit wall, involves high capital costs of preparatory work and, in case that cutback is necessary, leads to an increased amount of stripping and, thus, to heavy expenditures. Consequently, it is of the current concern to substantiate an economically effective application range for the cyclical-and-continuous technology with high-angle pressure-belt conveyors as compared with the truck-and-shovel systems, high-angle conveyor galleries and belts. The layout of the high-angle pressure-belt conveyor and its application examples in open pit mining are given. The studies have found parameters for the cyclical-and-continuous technology with the high-angle pressure-belt conveyor, conventional belts and truck-and-shovel systems at different process variables (lifting height of rocks from 180 to 680 m, annual capacity of operating system from 5 to 30 Mt/yr). The change in NPV versus geotechnical parameters in case of the cyclical-and-continuous technologies with the high-angle pressure-belt conveyor, conventional belt and truck-and-shovel system is demonstrated. The range of the most efficient application of the cyclical-and-continuous technology with the high-angle pressure-belt conveyor as against the truck-and-shovel system, conveyor belt and high-angle conveyor gallery is identified.

**Key words:** cyclical-and-continuous technology, high-angle conveyor, high-angle pressure-belt conveyor, technical and economic comparison, truck-and-shovel system, crushing-and-loading plant, belt conveyor, conveyor gallery.

The study was carried out under State Contract No. 075-00581-19-00, Topic No. 0405-2019-0007.

**For citation:** Semenkin A. V., Zhuravlev A. G. Forecast and comparison of application areas of high-angle conveyors. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):322–337. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_52\_0\_322.

---

### Введение

Большинство крупных рудных карьеров на сегодняшний день имеют глубину более 300 метров, проектная глубина при этом достигает до 600–700 метров. Углубление карьеров ведет к ухудшению горнотехнических условий и увеличению затрат на транспортирование горной массы, которые занимают значительную часть от стоимости

добычи полезного ископаемого [1, 2]. Перспективным способом подъема горной массы является ЦПТ [3].

Для размещения традиционного ЛК (угол наклона до 16°) в карьере пространстве необходим прямолинейный участок на борту карьера. Для установки ленточного конвейера проходят траншею или полутраншею, при этом горно-капитальные затраты занимают

значимую часть от стоимости комплекса. Зачастую при размещении ЛК необходимо производить разнос борта с выемкой дополнительных объемов вскрыши и большими затратами [4].

В отличие от ЛК, КНК устанавливается на конечном участке борта на опорах под достаточно большим углом наклона (до 45°) без прохождения траншеи или полутраншеи. Дополнительными статьями затрат на применение КНК с прижимной лентой являются: затраты на опоры, на дополнительные металлоконструкции, на прижимной контур (прижимная лента, прижимные устройства, ролики верхней ветви, натяжные устройства, привод), на обслуживающую тележку.

Поэтому актуальной задачей является установление экономически эффективных областей применения комплексов ЦПТ на базе КНК с прижимной лентой в сравнении с наиболее распространенным на карьерах экскаваторно-автомобильным комплексом (ЭАК) [5–7], трубчатыми КНК, а также ЛК стандартного уклона (до 16°).

В рамках данной статьи крутонаклонными считаются конвейеры, способные обеспечить подъем горной массы под углом выше традиционных ЛК, т. е. выше 16°. Ввиду более высокой сложности и дороговизны конвейеры с прижимной лентой не изготавливаются с малыми углами наклона, а потому все известные конструкции являются крутонаклонными. Трубчатые конвейеры широко применяются для транспортирования материалов как по горизонтали, так и под наклоном, в тех условиях, где необходимо обеспечить замкнутость транспортируемого материала. В данной статье подразумеваются именно такие трубчатые конвейеры, которые обеспечивают подъем под углом наклона более 18°: общеиз-

вестно, что гладкие трубчатые ленты обеспечивают подъем до 30–31°; современные шевронные ленты позволяют достигнуть угла подъема 45°, а в определенных условиях — 53° [8, 9].

### Результаты

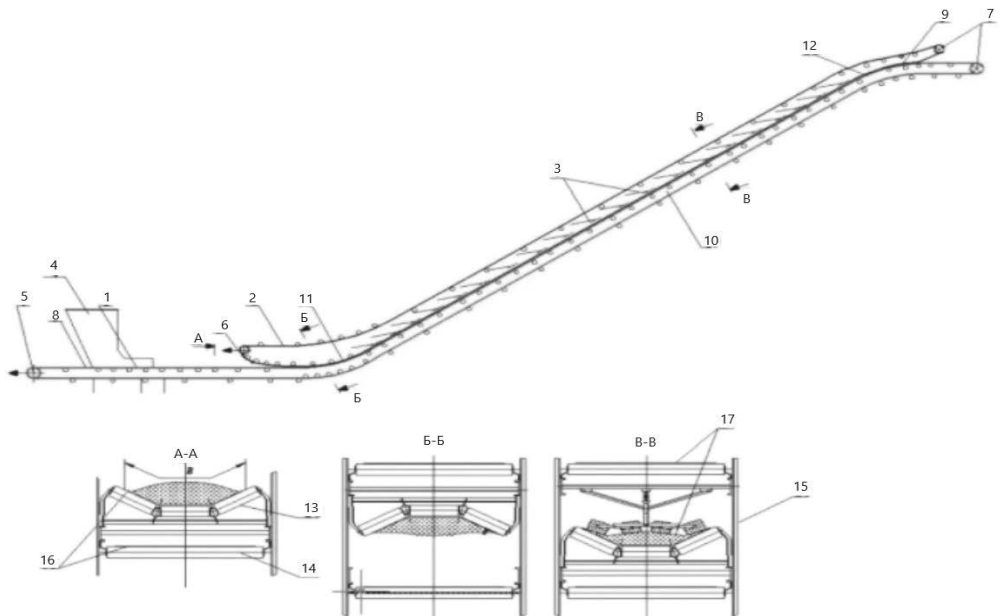
На рис. 1 представлена схема крутонаклонного конвейера с прижимной лентой [10].

КНК с прижимной лентой эффективно применяются в целом ряде регионов мира. В России КНК с прижимной лентой используется на Оленегорском ГОКе [11], на Михайловском ГОКе (ввод состоялся в 2020 г.) [12].

Применяемые и строящиеся комплексы ЦПТ на карьерах России базируются на зарубежных конструкциях, а потому дороже в сравнении с расчетными стоимостями отечественной разработки и изготовления таких конструкций. В расчетах приняты усредненные стоимостные показатели по действующим и строящимся комплексам ЦПТ в РФ.

Параметры комплексов ЦПТ и ЭАК рассчитывались при годовой производительности 5, 10, 20, 30 млн т/год и высоте подъема горной массы от 180 до 680 м с шагом 100 м по методикам, изложенным в [13, 14]. Высота подъема горной массы сборочным автотранспортом от забоя до дробильно-перегрузочного пункта составляет 80 м.

Расчет параметров ЦПТ произведен с достаточно полным учетом режима работы дробильно-конвейерного комплекса (ДКК) и его влияния на работу экскаваторно-автомобильного комплекса и транспортной системы в целом. При выборе оборудования ДКК учтена надежность его работы, неравномерность поступающего после дробления горной массы в дробилку на конвейерную линию грузопотока. Число работающих в смену машин в автомобильном



**Рис. 1. Схема крутонаклонного конвейера с прижимной лентой:** 1 – грузенный контур; 2 – прижимной контур; 3 – прижимные модули; 4 – загрузочное устройство; 5 – натяжное устройство грузенного контура; 6 – натяжное устройство прижимного контура; 7 – приводы грузенного и прижимного контуров; 8 – загрузочный участок; 9 – переход транспортируемого материала с крутонаклонной части на пологий участок; 10 – крутонаклонный участок; 11 – нижний переходной участок; 12 – верхний переходной участок; 13 – верхние роlikоопоры грузенного контура; 14 – нижние роlikоопоры грузенного контура; 15 – металлоконструкция конвейера; 16 – верхняя и нижняя ветви грузенного контура; 17 – верхняя и нижняя ветви прижимного контура

**Fig. 1. Diagram of a steeply inclined conveyor with pressure belt:** 1 – loaded circuit; 2 – pressure circuit; 3 – clamping modules; 4 – loading device; 5 – tensioner loaded circuit; 6 – tensioner clamping circuit; 7 – drives loaded and clamping circuits; 8 – boot phase; 9 – the transition of the transported material with steeply inclined part on the flat section; 10 – steeply-sloped plot; 11 – bottom transitional phase; 12 – upper transitional phase; 13 – upper rollers loaded circuit; 14 – bottom rollers loaded circuit; 15 – metal construction pipeline; 16 – upper and lower branches Laden contour; 17 – upper and lower branches of the pressure circuit

и экскаваторном звеньях определено по часовому грузопотоку ДКК. Параметры оборудования в комплексах ЦПТ на базе крутонаклонного конвейера и ЭАК приведены в табл. 1, 2. В расчете эксплуатационных расходов на конвейерное оборудование учитывались фактические сроки службы наиболее быстроизнашивающихся элементов (ролики нижней и верхней ветвей ленты, конвейерных лент).

Для подъема горной массы с использованием крутонаклонного конвейера на большую высоту с обеспечением высокой производительности требуется устанавливать несколько конвейерных ставов. Это связано с предельной длиной одного конвейерного става. Выход из строя хотя бы одного узла приводит к остановке всей конвейерной линии, поэтому необходимо использовать

Таблица 1

**Параметры оборудования в ЭАК****Parameters of the equipment in the excavator and automobile complex (EAC)**

Годовая производительность, млн т/год	5	10	20	30
Высота подъема горной массы, м	180–680			
Расстояние транспортирования горной массы автосамосвалами, км	4,6–11,8			
Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>	5	12	15	15
Число экскаваторов, шт.	3	5	5	6
Грузоподъемность автосамосвала, т	45	90	130	130
Число автосамосвалов, шт.	24–54	24–54	33–74	39–89

Таблица 2

**Параметры оборудования в комплексах ЦПТ на базе крутонаклонного конвейера с прижимной лентой****Parameters of the equipment in the complexes cyclic-flow technology (CFT) based on steeply inclined conveyor with a pressure belt**

Годовая производительность, млн т/год	5	10	20	30
Высота подъема горной массы, м	180–680 (в т. ч. автотранспорт — 80 м)			
Расстояние транспортирования горной массы конвейером, м	171–1020			
Тип дробилки	ЩДП 15×21У		ККД-1500/180	
Число дробилок, шт.	1	2	1	2
Число питателей, шт.	1	2	2	4
Ширина ленты, м	1	1,2	1,8	2,2
Длина става, м	171–511	171–341	171–341	171–255
Число ставов, шт.	1–2	1–3	1–3	1–4
Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>	5	12	15	15
Число экскаваторов, шт.	3	5	5	6
Грузоподъемность автосамосвала, т	45	90	130	130
Число автосамосвалов, шт.	12	12–13	16–18	20–24

современное технологичное оборудование с высокой надежностью.

При наращивании конвейерной линии (строительство последующего конвейерного става) по мере понижения горных работ необходимо достаточно быстро перенести дробильно-перегрузочную установку (ДПУ) на новое место. Для этого возможно использование полустационарных ДПУ [15–17]. Они представляют собой опорную металлоконструкцию, которая оснащается основными элементами и оборудованием.

Например, дробильно-перегрузочная установка ДПУ–2000 компании ПАО «Уралмашзавод» (рис. 1) включает: опорную раму, дробилку ККД–1500/180, приемный бункер дробилки, разгрузочный бункер, пластинчатый питатель, передаточный конвейер, кабину управления, бутобой, разгрузочные эстакады, вспомогательное оборудование и металлоконструкции (рис. 2) [18].

Рассматриваемые варианты оцениваются в идентичных условиях, поэтому доходные части будут равны

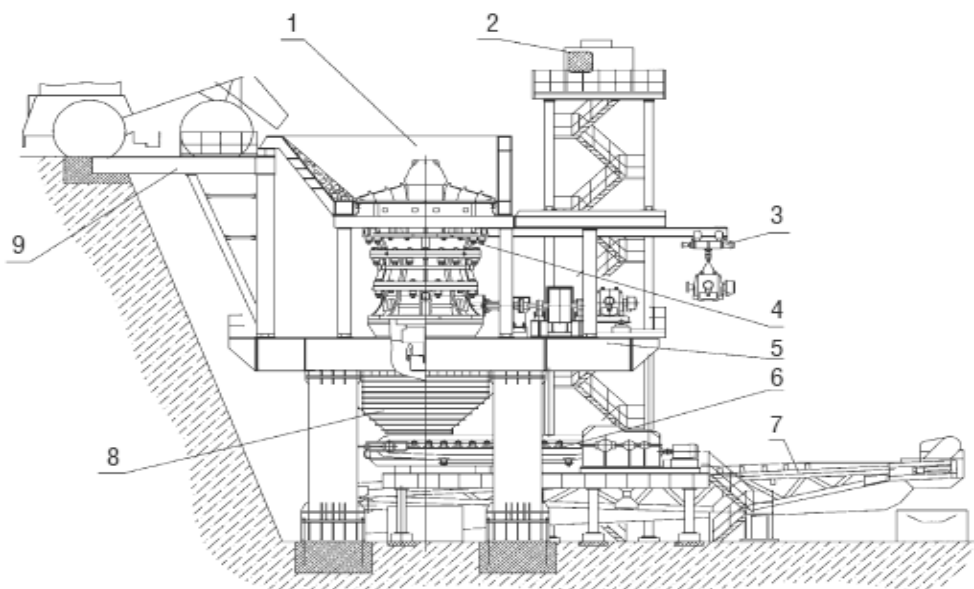


Рис. 2. Дробильно-перегрузочная установка ДПУ-2000: 1 – приемный бункер; 2 – кабина управления; 3 – вспомогательное оборудование; 4 – дробилка ККД-1500/180; 5 – опорная рама; 6 – пластинчатый питатель; 7 – передаточный конвейер; 8 – разгрузочный бункер; 9 – эстакада

Fig. 2. Crushing and reloading unit CRP-2000: 1 – receiving hopper; 2 – control cabin; 3 – auxiliary equipment; 4 – CLC-1500/180 crusher; 5 – support frame; 6 – plate feeder; 7 – transfer conveyor; 8 – unloading hopper; 9 – overpass

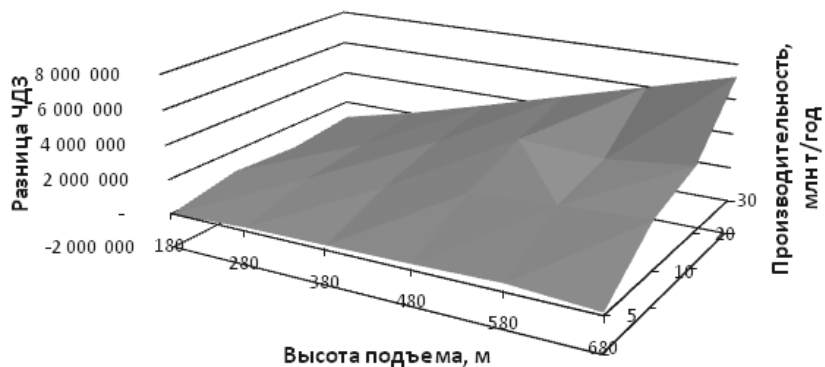
(одинаковый объем перевозок и стоимость товарной продукции). Для сравнительного анализа комплексов ЦПТ и ЭАК рассчитаны чистые дисконтированные затраты (ЧДЗ). Стоимостные показатели приняты на 2020 г. по предприятиям-аналогам. Расчеты разницы ЧДЗ на комплекс ЦПТ на базе КНК с прижимной лентой и ЭАК проведены по формулам, приведенным в [19]. На рис. 3 представлены результаты расчетов при разных сроках оценки.

Анализ полученных зависимостей показал, что при разных сроках оценки 5 и 8 лет характер изменения разницы ЧДЗ аналогичен. Замечен рост экономического эффекта применения ЦПТ с увеличением высоты

подъема горной массы и ростом годовой производительности комплекса. При небольшой производственной мощности (5 млн т/год) этот рост незначительный. Наибольшая интенсивность роста экономического эффекта наблюдается с увеличением высоты подъема горной массы с использованием комплекса ЦПТ производительностью 30 млн т/год.

Отмечается небольшая разница в области эффективного применения комплекса ЦПТ на базе КНК с прижимной лентой в сравнении с ЭАК. Так, при сроке оценки 8 лет применение комплекса ЦПТ экономически эффективно во всей области исследуемых горнотехнических параметров. При оценке на 5-й год имеется неболь-

а



б

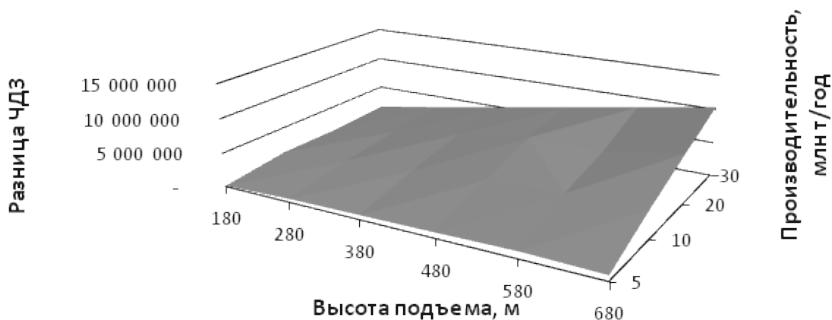


Рис. 3. Сравнение ЧДЗ на применение ЦПТ на базе КНК с прижимной лентой и ЧДЗ на применение ЭАК: а – срок оценки 5 лет; б – срок оценки 8 лет  
 Fig. 3. Comparison of NPV for the use of CFT based on SIC with a pressure belt and NPV for the use of EAC: а – evaluation Period of 5 years; б – evaluation Period of 8 years

шое отличие с производительностью комплекса 5 млн т/год и высотой подъема горной массы 180 м. Здесь имеется незначительный экономический эффект от применения экскаваторно-автомобильного комплекса.

Приведенный график (рис. 4) показывает достаточно быструю окупаемость больших капитальных затрат за счет меньших эксплуатационных при использовании комплекса ЦПТ в сравнении с ЭАК. Однако срок окупаемости вложений в реальных условиях может отличаться от данных сроков как

в меньшую, так и большую сторону в зависимости от доходной части денежного потока.

Несмотря на установленную экономическую эффективность ЦПТ на базе КНК с прижимной лентой в сравнении с ЭАК, сдерживающими факторами в применении являются:

1. Большая капиталоемкость.
2. Технологические особенности разработки месторождений (отсутствие борта в конечном положении, отсутствие площадки для размещения хвостовой части конвейера, ДПУ и т. д.).

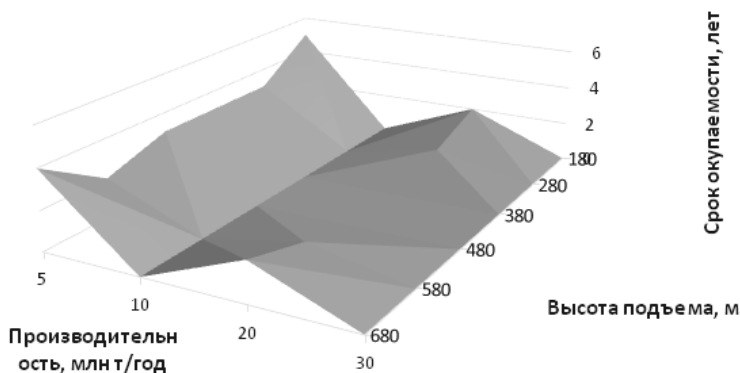


Рис. 4. Срок окупаемости вложений на комплекс ЦПТ на базе КНК с прижимной лентой  
 Fig. 4. Payback period for investment in CFT complex based on SIC with a pressure belt

Таблица 3 – Параметры оборудования комплекса ЦПТ на базе традиционного ленточного конвейера

Table 3 –Parameters of the equipment in the complexes CFT based on the traditional belt conveyor

Годовая производительность, млн т/год	5	10	20	30
Высота подъема горной массы, м	180–680 (в т. ч. автотранспорт – 80 м)			
Расстояние транспортирования горной массы конвейером, м	324–1944			
Тип дробилки	ЩДП 15×21У		ККД-1500/180	
Число дробилок, шт.	1	2	1	2
Число питателей, шт.	1	2	2	4
Ширина ленты, м	1	1	1,4	1,6
Длина става, м	324–972	324–486	324–390	324
Число ставов, шт.	1–2	1–4	1–5	1–6
Вместимость ковша экскаватора, м <sup>3</sup>	5	12	15	15
Число экскаваторов, шт.	3	5	5	6
Грузоподъемность автосамосвала, т	45	90	130	130
Число автосамосвалов, шт.	12	12–13	16–18	20–24

3. Затруднения в наращивании конвейерной линии.

4. Длительный и трудоемкий перенос дробильно-перегрузочной установки.

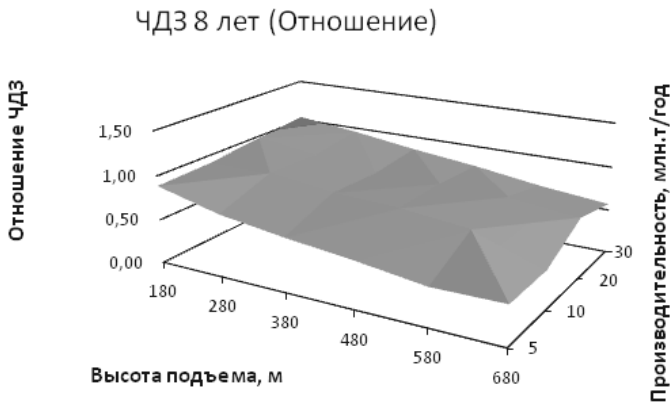
В ходе исследования проведено сравнение комплексов ЦПТ на базе крутонаклонного конвейера с прижимной лентой с традиционным ленточным конвейером на основе расчетов чистых дисконтированных затрат. Расчеты проведены при тех же производи-

тельностью и высотах подъема горной массы, указанных выше, при размещении традиционного ленточного конвейера в карьере с разносом и без разноса борта под конвейерную выработку (рис. 5). В табл. 3 показаны параметры ленточного конвейера [16].

По полученным зависимостям установлено, что на эффективное применение комплекса ЦПТ с крутонаклонным конвейером в сравнении с традиционным ленточным имеются ограниче-



а



б

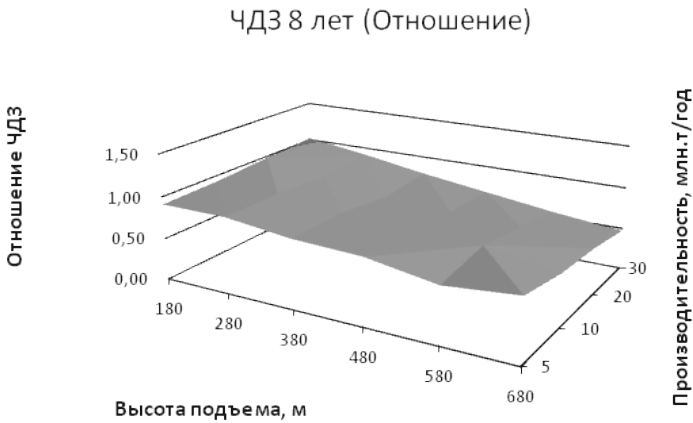


Рис. 5. Сравнение ЧДЗ на применение ЦПТ на базе КНК с прижимной лентой и ЧДЗ на применение ЦПТ с традиционным ленточным конвейером: а — ЛК без разнosa борта; б — ЛК с разносом борта

Fig. 5. Comparison of NPV for the use of CFT based on the SIC with a pressure belt and NPV for the use of CFT based on the traditional belt conveyor: а — belt conveyor (BL) without side spacing; б — belt conveyor (BL) with the spread of the board

ния при производительности 30 млн т/год с высотой подъема горной массы 180 м. В остальной области исследуемых условий применение комплекса ЦПТ с крутонаклонным конвейером эффективнее по сравнению с традиционным ленточным конвейером.

Крутонаклонные конвейеры с прижимной лентой имеют два тяговых

органа (ленты), что позволяет транспортировать одним ставом на большую высоту в сравнении с одним тяговым органом.

Для эффективного применения в современных и перспективных условиях добычи полезных ископаемых открытым способом крутонаклонные конвейеры должны обладать инноваци-

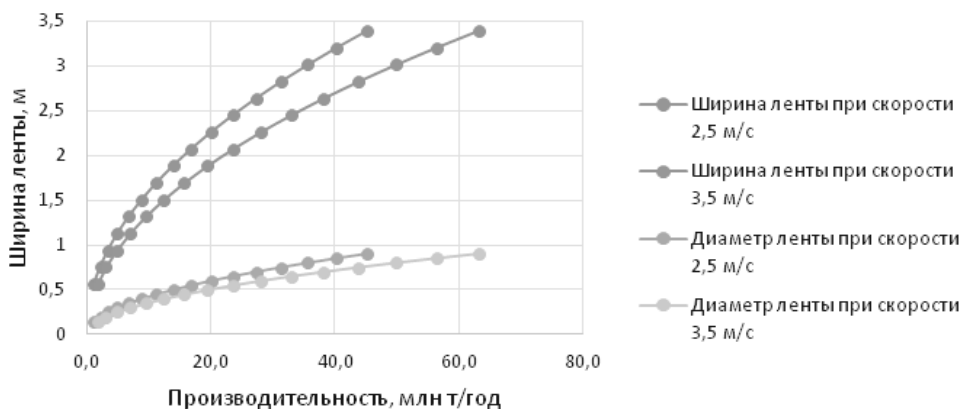


Рис. 6. Зависимость конструктивного диаметра и ширины ленты трубчатого конвейера от требуемой годовой производительности  
 Fig. 6. Dependence of the design diameter and width of the tubular conveyor belt on the required annual productivity

онной конструкцией, отвечающей следующим технологическим требованиям:

1. Минимально возможная длина хвостовой части, не более 30–35 м, для минимизации размеров перегрузочного пункта в стесненных условиях карьера.

2. Совершенствование конструкции устройств сворачивания и прижатия ленты должно обеспечивать в условиях карьера надежную долгосрочную работу при минимальном требуемом объеме технического обслуживания и ремонтов.

3. Конструкция конвейера должна обеспечивать высокопроизводительный подъем горной массы с углом наклона до 45°, в том числе за счет специальных технических решений.

4. Минимизация размеров дробильно-перегрузочного пункта за счет:

- применения инновационных конструкций конвейера, обеспечивающих транспортирование крупнокускового материала после одностадийного дробления на ДПУ традиционной конструкции (кусковатость материала до 350 мм);
- применение инновационных конструкций ДПУ, обеспечивающих

при одностадийном дроблении подачу материала с размерами кусков не более 150 мм на конвейер традиционной конструкции.

5. Возможность наращивания конвейерной линии с неоднократным быстрым переносом ДПУ.

Указанные технологические требования относятся к наиболее распространенным типам крутонаклонных конвейеров, применяющимся при открытой разработке месторождений, прежде всего, конвейерам с прижимной лентой и трубчатым [20, 21].

В качестве конструкций, обеспечивающих высокую производительность, менее жесткие требования к гранулометрическому составу транспортируемых пород зарекомендовали себя конвейеры с прижимной лентой. Наряду с этим при небольшой производительности (5–10 млн т/год) в стесненных условиях глубинной части карьера трубчатые крутонаклонные конвейеры могут быть более эффективными. Это объясняется меньшими капитальными затратами на трубчатый конвейер при такой производительности в сравнении с конвейер-

ером с прижимной лентой, а также его более компактной и менее металлоемкой конструкцией. Так, например, на рис. 6 приведена зависимость конструктивного диаметра и ширины ленты трубчатого конвейера от требуемой годовой производительности. Видно, что при годовой производительности ниже 8–12 млн т/год необходимый диаметр и ширина ленты интенсивно уменьшается.

Значение металлоемкости става трубчатого конвейера (без опор, без ленты, без приводной станции) при диаметре трубы 800 мм составляет 1,15 т/м. У КНК с прижимной лентой шириной 2000 мм, при которой годовая

производительность соответствует производительности трубчатого конвейера с диаметром трубы 800 мм, металлоемкость става (без опор, без лент, без приводных станций, без обслуживающей тележки) составляет 1,74 т/м.

Это означает, что затраты на ленту (являющуюся одним из наиболее дорогих элементов трубчатого конвейера) и металлоконструкции става также заметно снижаются.

На рис. 7 приведены схемы хвостовой части трубчатого конвейера, параметры которой представлены в табл. 4.

По данным табл. 4 видно, что при большой ширине ленты трубчатого

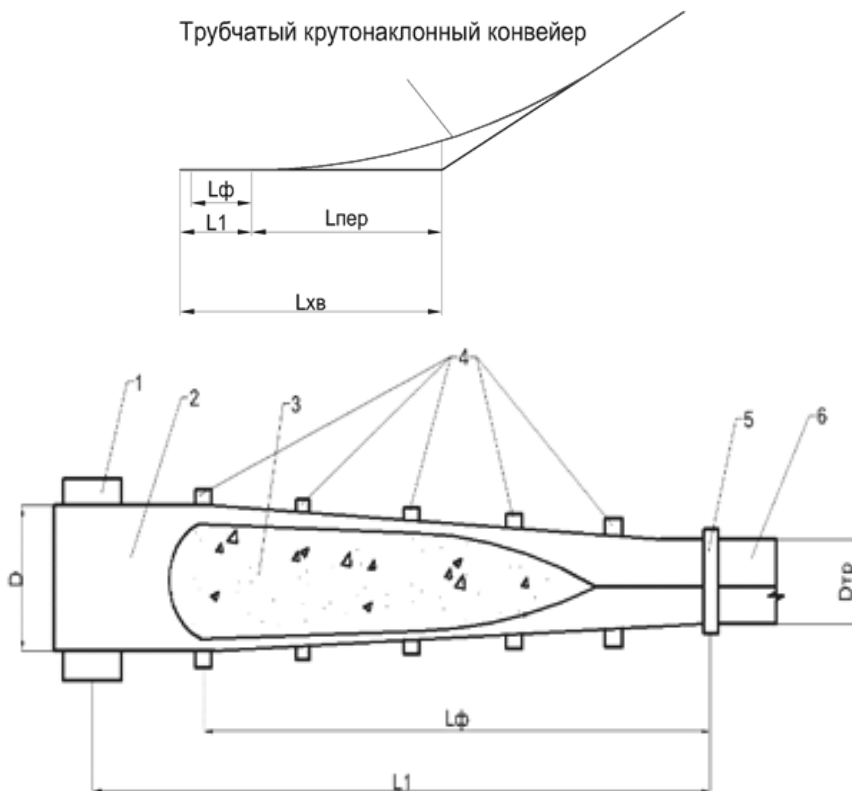
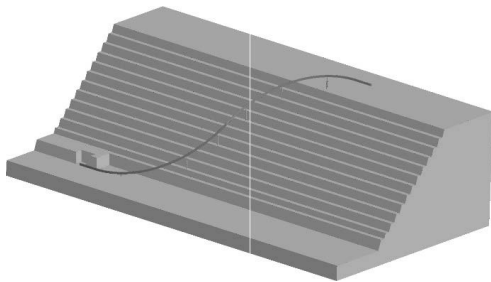


Рис. 7. Параметры участка хвостовой части трубчатого конвейера (к табл. 4): 1 – барабан; 2 – лента; 3 – груз; 4 – переходные трехроликовые опоры; 5 – первая линейная кольцевая опора; 6 – перекрытие кромок ленты

Fig. 7. Section of formation of a load-carrying chute of a tubular belt conveyor: 1 – drum; 2 – belt; 3 – cargo; 4 – transition three-roller supports; 5 – the first linear ring support; 6 – overlap of the edges of the belt

Таблица 4  
 Параметры хвостовой части трубчатого крутонаклонного конвейера  
 Parameters of the tail section of a tubular steeply inclined conveyor

Угол наклона конвейера, град	Скорость ленты, м/с	Годовая производительность, млн т/год	Параметры ленты Belt parameters		Тип ленты Belt type											
			Диаметр трубы, $D_{tr}$ мм	Ширина ленты, $D_l$ мм	Резинотканевая Rubber-fabric				Резинотросовая Rubber-cable							
					Длина переходного участка ленты в трубу, $L_{\Phi}$ м	Длина от оси барабана до первой кольцевой опоры, $L_1$ м	Длина участка переворота ленты, м	Радиус кривизны, м	Длина переходного участка из горизонтального в наклонный, $L_{пер}$ м	Длина хвостовой части, $L_{хв}$ м	Длина переходного участка ленты в трубу, $L_{\Phi}$ м	Длина от оси барабана до первой кольцевой опоры, $L_1$ м	Длина участка переворота ленты, м	Радиус кривизны, м	Длина переходного участка из горизонтального в наклонный, $L_{пер}$ м	Длина хвостовой части, $L_{хв}$ м
30	2,5	1,3	150	550	3,58	4,5	18	45	12	16,5	7,65	9,6	36	90	24	33,6
			200	650	5,2	6	20	60	16	22	10,3	11,9	40	120	32	43,9
			250	800	6,4	7,5	23	75	20	27,5	12,8	15,0	46	150	40	55,0
			300	1000	7,65	9	25	90	24	33	15,25	17,9	50	180	48	65,9
			350	1200	8,83	10,5	30	105	28	38,5	17,8	21,2	60	210	56	77,2
			400	1400	10,2	12	35	120	32	44	20,5	24,1	70	240	64	88,1
			500	1600	12,8	15	40	150	40	55	25,6	30,0	80	300	80	110,0
			600	2000	15,25	18	50	180	48	66	30,5	36,0	100	360	96	132,0
			700	2200	17,85	21	60	210	56	77	36	42,4	120	420	112	154,4
			850	2600	21,65	25,5	70	255	68	93,5	43,5	51,2	140	510	136	187,2



*Рис. 8. Схема размещения трубчатого конвейера на борту карьера*  
*Fig. 8. Layout of the tube conveyor on board the quarry*

конвейера, соответствующей большой годовой производительности, длина хвостовой части достигает 93,5 м для резинотканевой ленты и 187,2 м для резинотроссовой. Однако трубчатый конвейер имеет возможность как вертикальных, так и горизонтальных поворотов трассы. Поэтому возможно расположить хвостовую часть конвейера вдоль борта, как показано на рис. 8.

Такое расположение не требует большой площадки под дробильно-перегрузочный пункт поперек борта, что зачастую отсутствует в стесненных условиях.

Тем не менее, выбор конкретного типа крутонаклонного конвейера должен выполняться для конкретных горнотехнических условий, поскольку на технико-экономические показатели и надежность оборудования влияет множество дополнительных факторов: насыпная плотность, крепость и абразивность пород, высота подъема горной массы и др.

### **Выводы**

1. Выявлено, что в диапазоне производительности 5–30 млн т/год и высоте подъема горной массы 180–680 м, применение комплексов ЦПТ на базе КНК с прижимной лентой экономически эффективно в сравнении с ЭАК.

2. Несмотря на установленную экономическую эффективность, применение ЦПТ на базе КНК имеет ряд сдерживающих факторов: большая капиталоемкость, технологические особенности разработки месторождений (отсутствие борта в конечном положении, отсутствие площадки для размещения хвостовой части конвейера, ДПУ и т. д.), затруднения в наращивании конвейерной линии, длительный и трудоемкий перенос дробильно-перегрузочной установки.

3. В ходе исследования определены области экономически эффективного применения комплекса ЦПТ с крутонаклонным конвейером с прижимной лентой в сравнении с комплексом с традиционным ленточным конвейером. На эффективное применение комплекса ЦПТ с крутонаклонным конвейером имеются ограничения при производительности 30 млн т/год с высотой подъема горной массы 180 м. В остальных интервалах исследуемых условий (производительность 5–20 млн т/год, высота подъема горной массы 180–680 м и производительность 30 млн т/год высота подъема 280–680 м) КНК эффективнее по сравнению с традиционным ленточным конвейером.

4. В сравнении с крутонаклонным конвейером с прижимной лентой при небольшой производительности 5–10 млн т/год в стесненных условиях глубинной части карьера трубчатые крутонаклонные конвейеры могут быть более эффективными. Это объясняется меньшими капитальными затратами на трубчатый конвейер при такой производительности в сравнении с конвейером с прижимной лентой, а также его более компактной и менее металлоемкой конструкцией. Трубчатые конвейеры имеют длинную хвостовую часть, однако их можно расположить вдоль борта карьера.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. NelS., KizilM. S., KnightsP. Improvingtruck-shovelmatching // Proceedings of the 35<sup>th</sup> APCOM Symposium / Eds. E. Y. Baafi, R. J. Kinimonth, I. Porter. –Wollongong, NSW, Australia, 24–30 September 2011. – P. 381–391.
2. *Bozorgebrahimi E.* The evaluation of haulage truck size effects on open pit mining: Thesis for Doctor Philosophy. – British Columbia, 2004. – 177 p.
3. *Шешко Е. Е.* Обоснование параметров мощных крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой для подъема из глубоких карьеров // Горная промышленность. – 2017. – №6(136). – С. 80–83.
4. *Яковлев В. Л., Смирнов В. П., Берсенева В. А.* Устройство дробильно-конвейерных комплексов на глубоких карьерах. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2003. – 42 с.
5. *Burt C. N., Caccetta L.* Equipment selection for surface mining. A review // Interfaces, 2014, V. 44 (2). – P. 143–162.
6. *Tim J., Duncan S., Curley M.* The impact of broken rock angle of repose on truck and shovel capacity and tire life // Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum, 2020, No. 11(3), Pp. 165–181. DOI: 10.1080/19236026.2020.1793647.
7. *Isaac D., Peter K., Kizil M. S.* Truck and shovel versus in-pit conveyors systems: a comparison of the valuable operating time // Coal Operators' Conference. – Wollongong: The University of Wollongong, 2016. – Pp. 463–476.
8. *Минкин А.* Новая концепция циклично-поточного крутонаклонного транспорта с применением внутрикарьерной системы дробления и транспортировки (IPCC) для добычи открытым способом / А. Минкин, Ф. М. Вольперс, Т. Хелльмут // Уголь. – 2018. – №5. – С. 34–38. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-5-34-38>.
9. *Minkin A., Börsting P., Becker N.* Pipe Conveying the next Stage: A new Technology for Steep Incline High Capacity Open Pit Conveying // Bulk solids handling, 2016, Vol. 36, No. 2, Pp. 16–23.
10. Наука МИСиС : [Сайт]. <http://science.misis.ru/ru/nauchnapravleniy/1162/12943/> (дата обращения: 12.02.2021)
11. *Семенюк А. А., Решетняк С. П., Байчурина Н. И., Султанова Н. Р.* Инновационная технология транспорта руды Оленегорского месторождения с применением крутонаклонного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №56. – С. 413–420.
12. «Металлоинвест» планирует вложить 64 млрд рублей до 2024 года в модернизацию ГОКов. URL: <https://tass.ru/ekonomika/6980305> (дата обращения: 25.05.2020).
13. *Семенкин А. В.* Учет фактора времени при определении эффективности применения комплексов ЦПТ // Известия УГГУ. – 2017. – № 1. – С. 72–75. DOI : 10.21440/2307-2091-2017-1-72-75.
14. *Кармаев Г. Д., Глебов А. В.* Выбор горнотранспортного оборудования циклично-поточной технологии карьеров. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2012. – 296 с.
15. *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, Vol. 11, No. 6, Pp. 300–303.
16. *Fisher T.* Stationary and semi-mobile crushing plants –A comparison: Part I: Theoretical considerations // Cement International, 2017, No. 15(4), Pp. 66–69.
17. *Abbaspour H., Drebenshtedt C., Parisheh M.* 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, No. 33(5), Pp. 297–317. DOI: 10.1080/17480930.2018.1435968.

18. *Осадчий А. М., Фурин А. М., Холодков А. А. Полустационарные дробильно-перегрузочные установки Уралмашзавода // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №11. – С. 158–161.*

19. *Журавлев А. Г., Семенкин А. В. Оценка эффективности циклично-поточной технологии в условиях современных карьеров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. – Т.331 №10. – С. 80–90. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2852.*

20. *Давыдов С. Я. Использование трубчатых ленточных конвейеров для техногенных отходов предприятий / С. Я. Давыдов, Н. Г. Валиев, М. С. Филатов, Н. И. Полежаев, Г. Г. Кожушко // Известия УГГУ. – 2017. – №4(48). – С. 72–76. DOI 10.21440/2307–2091–2017–4-72–76*

21. *Семенкин А. В. Обзор применения крутонаклонных конвейеров в качестве карьерного и магистрального транспорта / А. В. Семенкин // Проблемы недропользования. – 2020. – №2. – С. 25–37. DOI: 10.25635/2313–1586.2020.02.025. **ПЛАБ***

## REFERENCE

1. Nel S., Kizil M. S., Knights P. Improving truck-shovel matching. Proceedings of the 35<sup>th</sup> APCOM Symposium. Eds. E. Y. Baafi, R. J. Kinimonth, I. Porter. Wollongong, NSW, Australia, 24–30 September 2011. P. 381–391.

2. Bozorgebrahimi E. The evaluation of haulage truck size effects on open pit mining: Thesis for Doctor Philosophy. British Columbia, 2004. 177 p.

3. Sheshko E. E. Justification of parameters of powerful steeply inclined conveyors with a pressure belt for lifting from deep quarries. *Gornaya promyshlennost'*. 2017, no. 6(163), pp. 80–93 [In Russ].

4. Yakovlev V. L., Smirnov V. P., Bersenev V. A. *Ustroistvo drobil'no-konveiernykh kompleksov na glubokikh kar'erakh* [Arrangement of crushing and conveyor complexes in deep quarries], Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2003, 42 p. [In Russ].

5. Burt C. N., Caccetta L. Equipment selection for surface mining. A review. *Interfaces*, 2014, Vol. 44 (2), Pp. 143–162.

6. Tim J., Duncan S., Curley M. The impact of broken rock angle of repose on truck and shovel capacity and tire life. Canadian Institute of Mining, Metallurgy, and Petroleum, 2020, no. 11(3), Pp. 165–181. DOI: 10.1080/19236026.2020.1793647.

7. Isaac D., Peter K., Kizil M. S. Truck and shovel versus in-pit conveyors systems: a comparison of the valuable operating time. Coal Operators' Conference. Wollongong: The University of Wollongong, 2016. pp. 463–476.

8. Minkin A., Vol'pers F. M., Hell'mut T. A new concept of cyclic-flow steeply inclined transport with the use of in pit crushing and transportation system (IPCC) for open-pit mining. *Ugol'*, 2018, no. 5, pp. 34–38 [In Russ]. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041–5790–2018–5-34–38>.

9. Minkin A., Börsting P., Becker N. Pipe Conveying the next Stage: A new Technology for Steep Incline High Capacity Open Pit Conveying. *Bulk solids handling*, 2016, Vol. 36, no. 2, pp. 16–23.

10. Nauka MISiS [science MISiS], available at: <http://science.misis.ru/ru/nauchnapravleniy/1162/12943/> (accessed 4.02.2021).

11. Semenyuk A. A., Reshetnyak S. P., Bajchurina N. I., Sultanova N. R. Innovative technology for ore transport from the Olenegorsk Deposit using a steeply inclined conveyor. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. 56, pp. 413–420 [In Russ].

12. «Metalloinvest» *planiruet vlozhit' 64 mlrd rublej do 2024 goda v modernizaciyu GOKov* [Metalloinvest plans to invest 64 billion rubles by 2024 in the modernization of GOK]. Available at: <https://tass.ru/ekonomika/6980305> (accessed 25 November 2020).

13. Semenkin A. V. Taking into account the time factor in determining the effectiveness of the use of CFT complexes. *Izvestiya UGGU*. 2017, No1, pp. 72 – 75 [In Russ].

14. Karmaev G. D., Glebov V. A. *Vybor gorno-transportnogo oborudovaniya tsiklichno-potochnoi tekhnologii kar'erov* [Choice in the systems mining equipment cyclic-flow technology pits], Ekaterinburg, IGD UrO RAN, 2012, 296 p. [In Russ].

15. 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, Vol. 11, no. 6, pp. 300 – 303.

16. Fisher T. Stationary and semi-mobile crushing plants. A comparison: Part I: *Theoretical considerations*. *Cement International*, 2017, no. 15(4), Pp. 66 – 69.

17. Abbaspour H., Drebenshtedt C., Parisheh M. 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, no. 33(5), pp. 297 – 317. DOI: 10.1080/17480930.2018.1435968.

18. Osadchij A. M., Furin A. M., Holodkov A. A. Semi-stationary crushing and reloading plants of Uralmashzavod. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013, no. 11, pp. 158 – 161.

19. Zhuravlev A. G., Semenkin A. V. Evaluation of the effectiveness of the cyclic-flow technology in the modern quarries. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2020, Vol. 331, no. 10, pp. 80 – 90 [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2852.

20. Davydov S. Ya, Valiev N. G., Filatov M. S., Polezhaev N. I, Kozhushko G. G Use of tubular belt conveyors for industrial waste of enterprises. *Izvestiya UGGU*. 2017, no. 4(48), pp. 72 – 76 [In Russ]. DOI 10.21440/2307 – 2091 – 2017 – 4-72 – 76.

21. Semenkin A. V. Overview of the use of steeply inclined conveyors as quarry and mainline transport. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2020, no. 2, pp. 25 – 37 [In Russ]. DOI: 10.25635/2313 – 1586.2020.02. 025.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Семеникин Александр Владимирович<sup>1</sup> – младший научный сотрудник, e-mail: semenkin@igduran.ru;

Журавлев Артем Геннадиевич<sup>1</sup> – кандидат технических наук, заведующий лабораторией транспортных систем карьеров и геотехники, e-mail: juravlev@igduran.ru;

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук Россия, Екатеринбург, Россия.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Semenkin A. V.<sup>1</sup>, junior researcher, e-mail: semenkin@igduran.ru;

Zhuravlev A. G.<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), chief of laboratory, Institute of mining, e-mail: juravlev@igduran.ru;

<sup>1</sup> Institute of Mining of Ural branch of RAS, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 16.12.2020; получена после рецензии 25.03.2021; принята к печати 10.04.2021.

Received by the editors 16.12.2020; received after the review 25.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.

