

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ НАКЛОННЫХ КАНАТНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. Г. Журавлев¹, М. А. Чендырев¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук,
Екатеринбург, Россия

Аннотация: Для добычи полезных ископаемых в качестве магистрального звена карьерного транспорта, обеспечивающего сокращение разноса бортов карьера, могут применяться подъемники, использующие канатный привод в сочетании с сосудами большой грузоподъемности, которые в целом можно назвать канатными наклонными карьерными подъемными установками (КНКП). В качестве «сосудов» могут использоваться автомобильные платформы, поднимающие автосамосвалы на поверхность по кратчайшему пути, либо скипы. В статье приведены результаты сравнения технико-экономических показателей автомобильных и скиповых подъемников и автомобильного транспорта. Для КНКП в качестве сборочного звена предусмотрены экскаваторно-автомобильные комплексы. Выполнены многовариантные расчеты для разных горнотехнических условий (варьировались глубина карьера, высота КНКП, годовая производительность, грузоподъемность автосамосвалов и скипов, срок существования подъемников). Расчеты показали, что несмотря на значительное сокращение эксплуатационных затрат, общий экономический эффект от применения КНКП не столь велик ввиду большого объема требующихся инвестиций. Наилучшими экономическими показателями характеризуются варианты с увеличенной грузоподъемностью и годовой производительностью. Автомобильные подъемники имеют в рассмотренной конструкции минимальную экономически эффективную область применения. Скиповые подъемники более эффективны и могут применяться на современных карьерах. Для вовлечения в сферу активного применения КНКП необходима разработка оригинальных компоновок и конструкций, обеспечивающих снижение капитальных затрат и сокращение срока строительства, а также обеспечение возможности наращивания их глубины. Представлены графики, иллюстрирующие расширение области экономически эффективного применения КНКП в зависимости от уровня капитальных затрат. Сформулированы направления повышения эффективности и расширения области применения КНКП.

Ключевые слова: карьерная наклонная канатная подъемная установка, автомобильный подъемник, скиповой подъемник, технико-экономические показатели транспорта.

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

Для цитирования: Журавлев А. Г., Чендырев М. А. Обоснование эффективных условий применения карьерных наклонных канатных подъемников на базе компьютерного моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 5–2. – С. 309–321. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_309.

Computer modeling-based substantiation of effective application conditions for inclined rope hoists in open pit mines

A. G. Zhuravlev¹, M. A. Chendyrev¹

¹ Institute of Mining Ural branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: In open pit mineral mining at reduced cutback, it is possible to use rope hoists with high-capacity containers, which in general can be called the inclined rope hoisting units (IRHU). The containers can be car platforms that lift dump trucks to ground surface along the shortest path, or skips. The article presents the comparison results on technical and economic indices of elevating platforms and skip hoists. The IRHU operation in the haulage chain is backed-up with the truck-and-shovel system. The multivariate calculations are carried out for varied mining conditions (open pit depth, IRHU height, annual productivity, load-carrying capacity of dump trucks and skips, lifespans of hoist units). The calculations show that, despite the significant reduction in operating costs, the overall economic effect from the use of IRHU is not so great due to the high investments required. The best economic performance belongs to the variants of increased load-carrying load capacity and annual productivity. The truck hoist units have a minimum cost-effective area of application in the considered design. The skip hoists are more efficient and can be used in modern open pits. The actual use of IRHU needs novel configurations and designs to be developed to provide reduction in capital costs and in construction period, as well as to ensure IRHU elongation for deep open pits. The plots are presented to illustrate expansion of the cost-effective application range of IRHU as function of capital costs. The lines of further intensification and diversification of IRHU use are formulated.

Key words: inclined rope hoisting unit for open pits, truck hoist, skip hoist, technical and economic indicators of transport.

Acknowledgements: The studies were carried out in the framework of State Contract No. 075-00581-19-00, Topic No. 0405-2019-0005.

For citation: Zhuravlev A. G., Chendyrev M. A. Computer modeling-based substantiation of effective application conditions for inclined rope hoists in open pit mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):309–321. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_309.

Введение

При добыче полезных ископаемых одним из наиболее затратных процессов является карьерный транспорт, затраты на него могут достигать 50 % от затрат на добычу. Транспорт неразрывно связан как с технологией добычи, так и с формой карьера. Самоходные виды транспорта обладают высокой маневренностью, но при этом ограничены по углу преодолеваемого уклона и характеризуются высокой себестоимостью, а также необходи-

мостью размещать на бортах карьера большое количество транспортных берм, что вызывает их выколаживание, и тем большее, чем меньше периметр, т. е. наибольшее выколаживание наблюдается в глубинной части [1, 2]. Одним из решений этой проблемы могут служить наклонные карьерные подъёмные установки, которые размещаются перпендикулярно борту карьера и обеспечивают кратчайшее расстояние транспортирования, а также возможность сокращения ширины автотранспорт-

ных берм в зоне действия подъемника до «служебной».

Наряду с подъёмниками конвейерного типа [3] могут применяться КНКП [4–6]. Они могут быть двух типов: скиповыми (горная масса поднимается открытыми сосудами — скипами) и автомобильными (на специальной платформе транспортируется карьерный самосвал, гружённый горной массой). Преимущество КНКП заключается в отсутствии необходимости дробления руды в карьере, а в случае автомобильного подъёма — отсутствии двойной перегрузки и переподъёма горной массы.

Рассматриваемая подъёмная установка состоит из траншеи, проложенной в борту карьера по кратчайшему расстоянию, двух подъёмных сосудов (платформ) или подъёмного сосуда (платформы) с противовесом, связанных через канаты подъёмных машин со шкивами трения, расположенными в верхней части и осуществляющими привод установки (рис. 1).

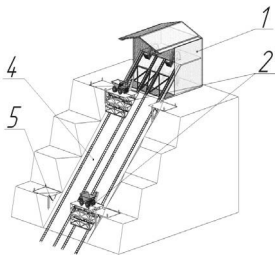
Несмотря на имеющийся опыт применения КНКП на сегодняшний день они не получили широкого распространения в связи с ограниченной производительностью и большими капи-

тальными затратами. Современные технологии позволяют создавать более производительные подъёмники, что открывает определённые перспективы для их применения. Однако отсутствие системных исследований в этом направлении в последние десятилетия требует научно-методической проработки современной технологии применения КНКП.

Для определения перспективных параметров наклонных карьерных подъёмников выполнен анализ опыта их применения и инновационных разработок в этом направлении, который позволил выделить диапазон параметров, в пределах которых могут быть найдены рациональные конструкции КНКП:

- высота подъёма 100–500 м, максимальная высота подъёма принята равной 500 м, так как при большей высоте подъёма необходимо увеличить кратность запаса прочности канатов;
- скорость подъёма 5–15 м/с;
- производительность 5–25 млн т/год (максимальная производительность достигается при минимальной высоте подъёма);
- углы наклона 30–70°;
- грузоподъёмность скипа 30–500 т, автосамосвала — 30–300 т.

а



б

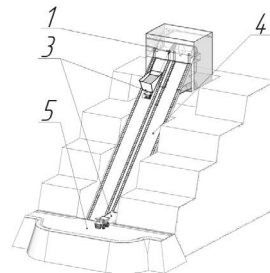


Рис. 1. Схемы карьерных канатных подъемных установок: а — автомобильный подъемник (АНКП); б — скиповой подъемник (СНКП); 1 — здание подъемных машин; 2 — автомобильная платформа; 3 — скип; 4 — траншея; 5 — нижний загрузочный пункт
Fig. 1. Scheme of quarry rope hoist installations: 1 — building of hoist machines; 2 — truck platform; 3 — skip; 4 — the trench; 5 — lower loading point

Методы

Исследование технико-экономических показателей КНКП выполнено на основе комплексной модели для обоснования параметров карьерного наклонного канатного подъемника. Ее суть в итерационном приближении расчетных параметров к искомым рациональным значениям за счет циклической реализации алгоритма «расчет конструктивных параметров КНКП — моделирование конструкции подъемника — расчет технологических параметров транспорта «КНКП+Авто» — расчет технико-экономических параметров транспорта», далее цикл расчета повторяется с новыми более точными данными, полученными на предыдущем шаге. Более подробно методический подход описан в [7].

Конструктивные параметры подъемника определялись по известным методикам, в основе которых лежит тяговый расчет. Оригинальную часть расчетов составляет обоснование компоновки здания подъема, выбор конструкции, мощностных характеристик и способа синхронизации подъемных машин, правильный подбор тяговых канатов с учётом конструкции, огибания шкивов, обеспечение прочности и габаритов приводных шкивов, а также обеспечение высокой динамики для поддержания приемлемой производительности установки с учетом требующихся больших тяговых усилий. Этим вопросам уделяется достаточное внимание в области шахтного подъёма [8–12].

В качестве исходных данных для экономической части расчетов использованы актуальные стоимостные показатели в ценах 2020 г. по ресурсам (трудовым, энергетическим и др.) и материалам, требующимся для эксплуатации. Капитальные затраты рас-

считаны исходя из стоимости конкретных видов оборудования, а также расценок за единицу горно-капитальных (на 1 м³), строительных (за 1 м³), монтажных (за 1 т) работ и средней стоимости несущих металлоконструкций (за 1 т).

В качестве базовых подъемных машин для расчетов приняты шахтные подъемные машины производства ПАО «Уралмашзавод» [13, 14]. Для вариантов КНКП, под которые в линейке ШПМ Уралмашзавода пока отсутствуют установки, их конструктивные параметры и стоимость были спрогнозированы путем аппроксимации по имеющимся данным и последующей интерполяции и экстраполяции.

Технико-экономические показатели (ТЭП) автомобильного транспорта определялись по известным методикам. С целью выполнения большого количества расчетов использована методика ИГД УрО РАН, позволяющая определять затраты на основе усредненных стоимостных показателей не только по операционной составляющей, но и по капитальным затратам на приобретение парка самосвалов, возведение гаражного хозяйства, строительства автодорог в карьере. В варианте автомобильного транспорта автодороги закладывались на всю глубину карьера в полном объеме. В варианте КНКП + автотранспорт основные автодороги закладывались только в рабочей зоне от забоев до нижнего загрузочного пункта подъемника, а в зоне действия подъемника — служебные однополосные дороги с разминочными площадками.

Полученные результаты и их анализ

На диаграммах рис. 2 приведена структура расчетных капитальных и эксплуатационных затрат. Видно, что

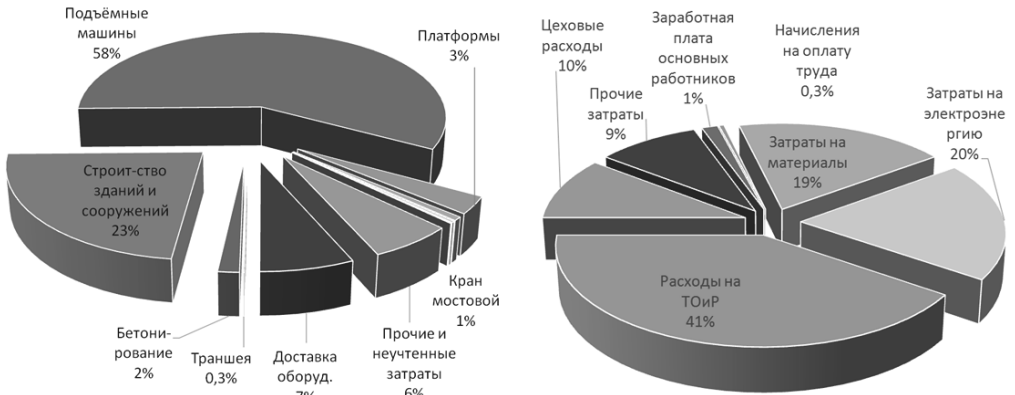
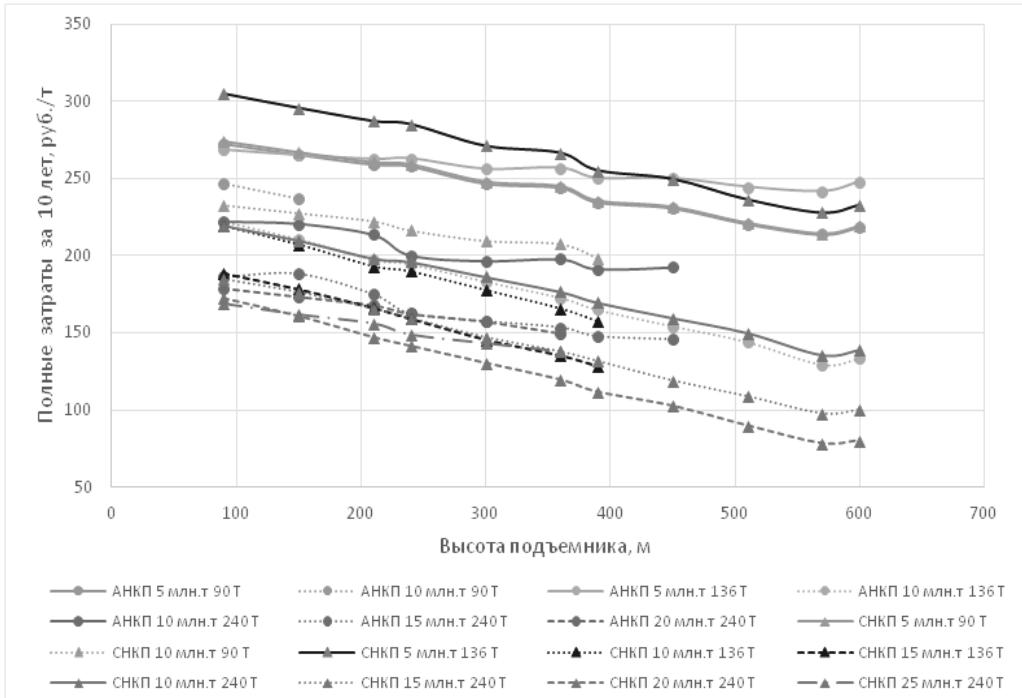


Рис. 2. Структура капитальных (слева) и эксплуатационных (справа) затрат на АНКП
 Fig. 2. Structure of capital (left) and operating costs for QITHI



АНКП — автомобильный наклонный карьерный подъемник;
 СНКП — скиповой наклонный карьерный подъемник

Рис. 3. Графики зависимости полных затрат (капитальные + эксплуатационные) на КНКП совместно со сборочным автомобильным транспортом в карьере конечной глубины 600 м за 10 лет эксплуатации от высоты, типа и грузоподъёмности подъемной установки, а также ее годовой производительности

Fig. 3. Graphs of the dependence of the total costs (capital + operating) at the QIRHI together with the assembly motor transport in an open pit with a final depth of 600 m for 10 years of operation on the height, type and carrying capacity of the hoist installation, and annual productivity

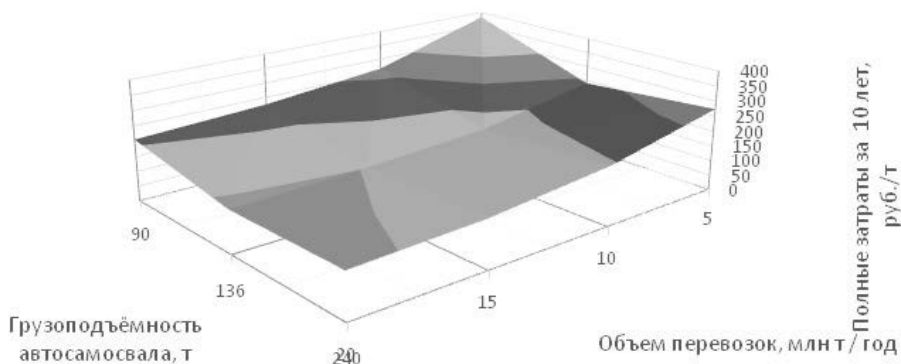


Рис. 4. Полные затраты на транспортирование при применении системы АНКП за 10 лет при глубине 360 м в зависимости от годовой производительности и грузоподъемности автосамосвалов

Fig. 4. Total transportation costs when using the QITHI system for 10 years at a depth of 360 m, depending on the annual productivity and carrying capacity of dump trucks

наибольшую часть капитальных затрат составляет стационарное оборудование. Это связано с необходимостью использования двух подъемных машин для обеспечения необходимых тяговых и скоростных характеристик при достаточном сцеплении канатов с футеровкой шкивов и отсутствии проскальзывания. Наибольшую часть эксплуатационных затрат составляют расходы на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР). Только расходы на электроэнергию являются условно-переменными, соответственно, при увеличении годовой производительности относительные затраты будут значительно уменьшаться.

Расчеты показали, что капитальные затраты на КНКП выше, чем на автомобильный транспорт. Поэтому значительная экономия в вариантах подъемников обеспечивается за счет эксплуатационных затрат. Оценка сокращения эксплуатационных затрат приведена в работе [15].

Как видно из графиков на рис. 3, с ростом глубины ввода подъемной установки и увеличением годовой производительности при фиксированной конечной глубине карьера наблюдается снижение удельной стоимости

транспортирования тонны перевозимой породы, связанное с возрастанием экономии эксплуатационных затрат КНКП в сравнении с автомобильным транспортом. В среднем полные затраты (капитальные + эксплуатационные) на транспортирование снижаются на 17–20 руб./т при увеличении высоты подъемника на 100 м.

Установлено, что удельные затраты на 1 т перевозимой горной массы уменьшаются с ростом годового объема перевозок. При этом для автомобильного подъемника (рис. 4) наблюдается интересная тенденция: в диапазоне грузоподъемностей от 90 до 136 т удельные затраты снижаются, что объясняется ростом производительности установки, а при дальнейшем росте грузоподъемности возрастают, что связано с капитальными затратами ввиду опережающего увеличения металлоемкости и мощности оборудования подъемника, а также затратами на его эксплуатацию.

Срок полезного использования подъемника положительно влияет на снижение удельных затрат (на 1 т горной массы), что объясняется распределе-

нием значительных капитальных затрат на большой перевезенный объем горной массы. Это проиллюстрировано на рис. 5 на примере скипового подъемника. Применение тяжелых подъемников со сроком полезного использования

менее 8–10 лет нерационально с экономических позиций ввиду значительного повышения себестоимости за счет статьи «амортизация», а подъемники с грузоподъемностью менее 120–130 т имеют низкий экономический эффект.

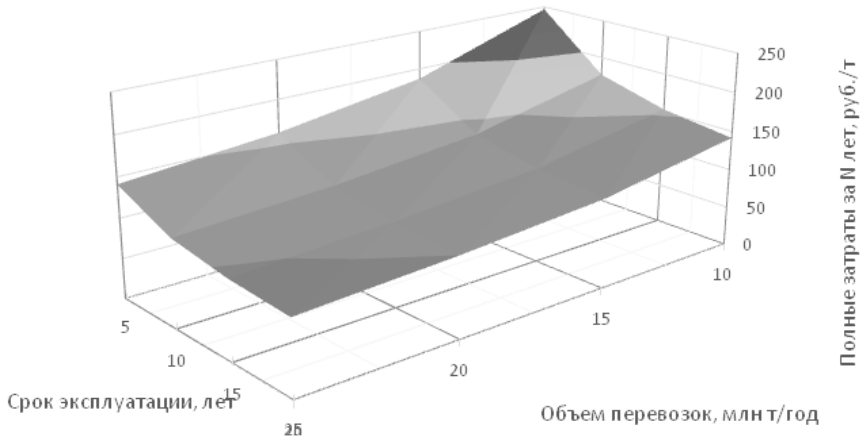


Рис. 5. Полные затраты на транспортировку при применении системы ШКП с автосамосвалами грузоподъемностью 240 т при глубине 360 м в зависимости от годовой производительности и срока эксплуатации

Fig. 5. Total transportation costs when using the QISHI system with dump trucks with a carrying capacity of 240 tons at a depth of 360 m, depending on the annual productivity and service life

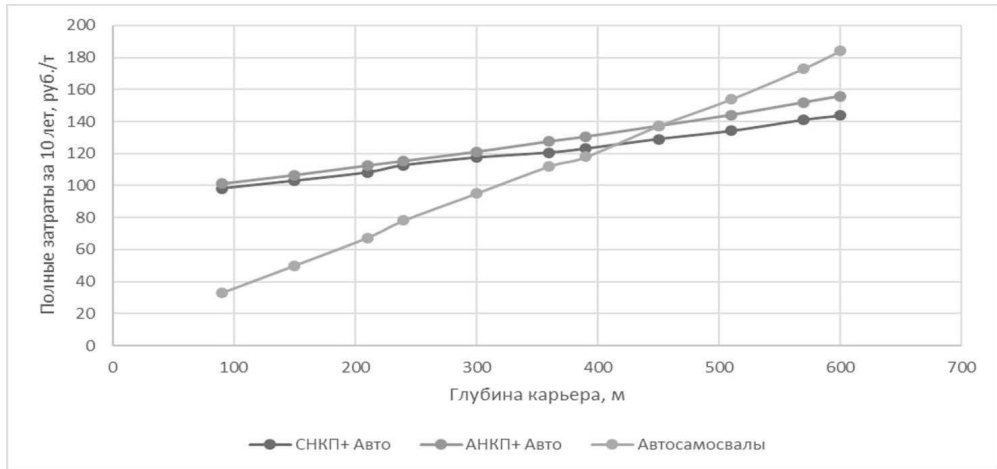


Рис. 6. Соотношение полных затрат (капитальные + эксплуатационные) на 1 т перевезенной горной массы по вариантам видов транспорта за 10 лет эксплуатации (для варианта «АНКП + Авто» и «ШКП + Авто» подъем сборочным автотранспортом 90 м)

Fig. 6. Ratio of total costs (capital + operating) per 1 ton of transported rock mass by modes of transport for 10 years of operation (for the option “QISHI + Auto” and “QISHI + Auto”, lifting by assembly vehicles 90 m)

Аналогичная закономерность характерна для всех рассмотренных вариантов скиповых и автомобильных подъемников.

Учитывая, что рассматриваемый тип подъемников рационально применять на глубоких карьерах с ограниченными размерами в плане, где важно добиться сокращения вскрыши, в качестве ориентира для расчетов были выбраны параметры алмазородных карьеров Западной Якутии. Они отрабатываются с применением автомобильного транспорта на всю глубину. Соответственно, для дальнейших расчетов базовым вариантом для сравнения выбран автомобильный транспорт.

На рис. 6 приведен пример сравнения затрат. Видно, что характеры изменения затрат схожи, но в случае с КНКП их рост менее интенсивен с глубиной карьера, а потому в точке пересечения находится граница экономического преимущества транспорта с применением канатных подъемников.

На рис. 7 приведена область экономически более выгодного применения автомобильных подъемников в сравнении с автотранспортом. Видно, что в пределах 10-летнего периода эта область крайне узкая при высоте подъемника от 350 м и более, соответственно, при глубине карьера порядка 450—600 м. При сроке существования подъемника 20 лет они могут вводиться в действие раньше с глубин от 240 м.

Область экономического преимущества скиповых подъемников несколько шире, чем автомобильных (рис. 8), а вот экономический эффект значительно больше (в 2—3 раза). Это объясняется меньшими капитальными и эксплуатационными затратами.

Учитывая данные рис. 7, применение автомобильных карьерных подъемников имеет ограниченную область экономически эффективных условий применения, а с учетом дополнитель-

ных ограничений, накладываемых со стороны технологии, она крайне узка. Технологические ограничения связаны с тем, что большие капитальные затраты окупаются только при значительной высоте подъемника (более 370—390 м), обеспечивающей значительную экономию эксплуатационных затрат в сравнении с автомобильным транспортом. Соответственно, момент ввода подъемника близок к завершающему этапу отработки месторождения, который характеризуется малым объемом перевозок в нижней зоне карьера и весьма ограниченным сроком существования карьера от момента ввода в эксплуатацию подъемника до завершения горных работ.

Учитывая вышесказанное, более перспективны скиповые наклонные карьерные подъемники, характеризующиеся меньшими затратами. Однако они требуют более широкой площадки и перепада высот под нижний загрузочный пункт, поскольку предполагают перегрузку горной массы из автосамосвалов в скип, а также более сложного верхнего разгрузочного пункта с бункером для перегрузки в поверхностный транспорт. Но в то же время парк автосамосвалов будет меньше, т. к. они не перемещаются на подъемнике, а потому могут после разгрузки незамедлительно возвращаться к месту погрузки.

Дополнительный эффект применения КНКП может быть реализован при открыто-подземной разработке месторождения, если подъемник будет использоваться после завершения открытой добычи для доставки горной массы, добываемой подземным способом.

Расчетами установлено, что с увеличением срока эффективной эксплуатации подъемника затраты, приведенные к 1 т перевезенной горной массы, уменьшаются, а экономия затрат

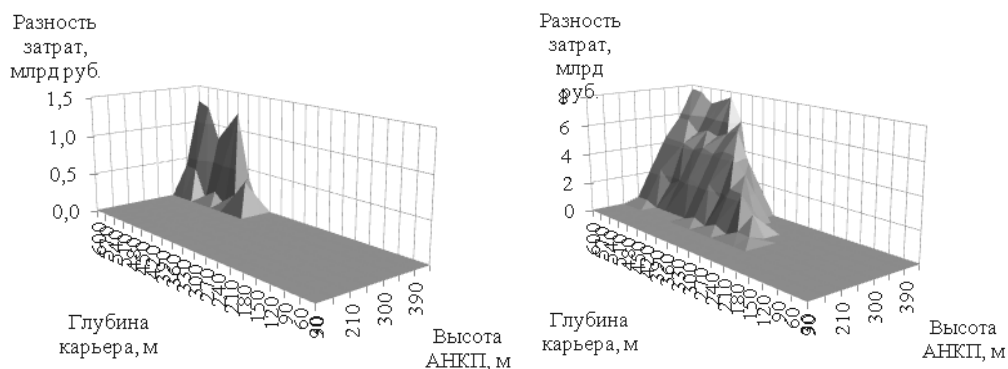


Рис. 7. Область экономического преимущества (разность капитальных и эксплуатационных затрат) использования АНКП совместно с карьерными самосвалами в сравнении с автотранспортом при периоде расчёта 10 лет (слева) и 20 лет (справа)

Fig. 7. The area of economic advantage (the difference in capital and operating costs) of the use of ANKP together with mining dump trucks in comparison with vehicles with a calculation period of 10 years (left) and 20 years (right)

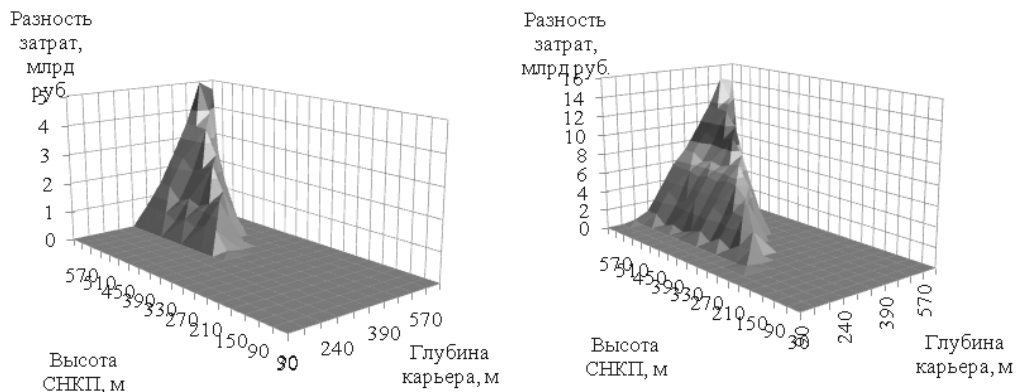


Рис. 8. Область экономического преимущества (разность капитальных и эксплуатационных затрат) использования автомобильно-скипового транспорта в сравнении с автомобильным транспортом при периоде расчёта 10 лет (слева) и 20 лет (справа)

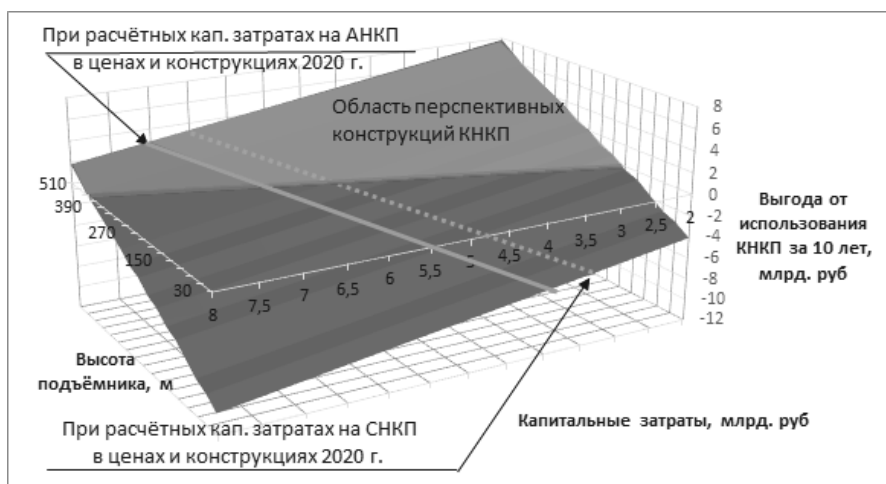
Fig. 8. The area of economic advantage (the difference between capital and operating costs) of the use of road-skip transport in comparison with road transport with a calculation period of 10 years (left) and 20 years (right)

в сравнении с автомобильным транспортом возрастает. Как видно из графика, с увеличением грузоподъёмности используемой установки и годовой производительности затраты сокращаются.

По мере научно-технического прогресса совершенствуются материалы, технологии строительства. При положительном прогрессе в этом направлении можно рассчитывать на сниже-

ние капитальных затрат, что расширит область применения как автомобильных, так и скиповых подъемников.

На рис. 9 представлен график, иллюстрирующий область экономически эффективного применения КНКП в зависимости от уровня капитальных затрат. Голубыми линиями показаны затраты на строительство КНКП соответствующей конструкции. Красной



Примечание: в варианте автомобильного подъемника грузоподъемность 136 т соответствует грузоподъемности поднимаемого автосамосвала

Рис. 9. Прогноз области перспективных конструкций КНКП в привязке к снижению их стоимости на примере подъемников грузоподъемностью 136 т с производительностью 10 млн т/год

Fig. 9. Forecast of the area of promising QIRHI structures in relation to their cost reduction using the example of hoist installations with a capacity of 136 tons with a annual productivity of 10 million tons / year

линией показаны варианты, где затраты на КНКП равны затратам при использовании только автомобильного транспорта (т. е. применение подъемников не имеет смысла), а в серой зоне использование подъемников становится невыгодным в сравнении с автотранспортом.

Предложения по направлению дальнейших исследований

Как показано в статье, исходя из известных конструкций автомобильных и скиповых подъемников с учетом сложившихся на 2020 г. цен на оборудование и строительно-монтажные работы, область их применения весьма ограничена экономически. Следовательно, для повышения эффективности и расширения области применения КНКП необходимо:

- сокращать срок строительства подъемника;

- уменьшать металлоемкость конструкций подъемника (в том числе переходить на металлические подвесные опорные конструкции, например, несущие канаты и иные конструкции, позволяющие отказаться от строительства глубоких траншей с большим объемом бетонирования);

- снижать стоимость подъемных машин;

- применять конструкции с минимальной массой перемещаемых сосудов (в этом плане перспективны скипы, перемещение «паразитных» масс в виде автосамосвалов повышает металлоемкость, мощность подъемных машин и их стоимость);

- разрабатывать конструкции наращиваемых по мере углубки карьера подъемников;

- увеличение прочности тяговых канатов при сохранении нагрузочной способности или увеличение их гиб-

кости, которое позволит уйти от соотношения диаметра каната к диаметру барабана 1/85, что существенно снизит стоимость за счёт уменьшения диаметра барабана подъёмной машины.

Выводы

1. Карьерные наклонные канатные подъемные установки (КНКП) обеспечивают существенное снижение эксплуатационных затрат в сравнении с автомобильным транспортом. Дополнительные эффекты от их применения:

- снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами автотранспорта;

- сокращение разноса бортов карьера при заужении транспортных берм в зоне действия подъемника;

- уменьшение потребного парка автосамосвалов и капитальных затрат на инфраструктуру для них и др.

2. Однако ввиду существенных капитальных затрат при известных конструкциях подъемников на данный момент подъемные установки имеют

ограниченный потенциал к применению при глубине карьера свыше 400–450 м. При этом скиповые подъемники имеют меньшую стоимость в сравнении с автомобильными, а также могут обеспечивать большую производительность за счёт меньшего коэффициента тары.

Указанные границы рассчитаны в «статической» постановке задачи и будут уточняться дальнейшими исследованиями с учетом динамики развития горных работ.

3. КНКП имеет потенциал к снижению капитальных затрат. Для этого необходимы разработка особых их компоновок, совершенствование конструкций составных элементов в направлении повышения удельной мощности и снижения металлоемкости, снижение объемов, сроков и стоимости строительно-монтажных работ. Перспективна разработка конструкций, обеспечивающих многократное наращивание подъемника в глубину по мере понижения горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабаскин С. Л.* Оптимизация конструкции бортов в нижней части кимберлитовых карьеров за счет применения новой технологии горных работ / С. Л. Бабаскин // Проблемы карьерного транспорта. Материалы IX международной научно-практической конференции, 9–12 октября 2007 г. — Екатеринбург: УрО РАН, 2008. — С. 33–38.

2. *Журавлёв А. Г., Буднев А. Б.* Влияние типоразмера автосамосвала на разнос бортов карьера // Проблемы недропользования. — 2018. — №2. — С. 20–29. DOI:10.26535/2313–1586.2018.02.020.

3. *Берсенева В. А.* Строительство конвейерных подъемников на бортах карьеров / В. А. Берсенева, А. В. Семенкин, И. Г. Сумина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2020 — №3 — 1. — С. 531 — 542. DOI: 10.25018/0236–1493–2020–31–0-518–529.

4. *Сисин А. Г.* Эффективность автомобильно-клетевых подъемников АНК-120 на глубоких карьерах А. Г. Сисин, В. И. Белобров, М. А. Файнблит, А. Н. Акишев. // Горный журнал. — 1995. — №6. — С. 19–21.

5. Буклет Siemug Trucklift system. technical information. [Сетевой ресурс]. — Режим доступа: http://www.siemag-tecberg.com/cms/upload/downloads/en//TI_27_Trucklift_e.pdf (28.12.2020).

6. *Franz Wölpers.* Thyssenkrupp's Skip Way System offers an alternative // Engineering and mining journal. №1, 2016, pp. 32–38.

7. Чендырев М. А. Комплексная модель для обоснования параметров автомобильного карьерного подъемника / М. А. Чендырев // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — №11 (СЦ 37). — С.282 — 289.
8. McLaughlin B. Deep shaft hoisting at LaRonde — The Penna shaft hoisting plant // CIM (Canadian Mining and Metallurgical) Bulletin. — 2004. — Т. 97. — №. 1080. — С. 44— 50.
9. Despodov Z., Panov Z., Doneva B. Some technical characteristics of shaft hoist machines installed in the shafts of Macedonian lead and zinc mines // The International Journal of Transport & Logistics. — 2012. — С. 398— 402.
10. Mařka E., Stomion M., Matuszewski M. Constructional features of ropes in functional units of mining shaft hoist // Acta mechanica et automatica. — 2018. — Т. 12. — №. 1. — С. 66— 71.
11. Styp-Rekowski, M., Manka, E., Matuszewski, M., Madej, M. and Ozimina, D. Tribological problems in shaft hoist ropes wear process // Industrial Lubrication and Tribology. 2015 — Т. 67 — №(1), С. 47 — 51. <https://doi.org/10.1108/ILT-01-2014-0004>
12. Braun T., Hennig A., Lottermoser B. G. The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry // Journal of Sustainable Mining. — 2017. — № 16. — С 24— 30.
13. Смирных К. В. Освоение производства шахтоподъемных машин на ПАО «Уралмашзавод»/К. В. Смирных, Н. С. Бычкова, М. А. Гриневич, А. А. Вяткин, Л. В. Юнышев // Горная промышленность. — 2018. — №2. — С. 22 — 23. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-2-138-22-23.
14. Шахтные подъемные машины ПАО «Уралмашзавод». Технические характеристики. — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://uralmash-kartex.ru/shahtnyepodyomnye-mashiny>. — (28.12.2020).
15. Чендырев М. А. Техничко-экономические параметры транспортирования горной массы из карьера автомобильным наклонным карьерным подъемником / М. А. Чендырев, А. Г. Журавлев // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». — 2018.— №1. — С. 33— 36. **ИЗБ**

REFERENCES

1. Babaskin S. L. Optimizaciya konstrukcii bortov v nizhnej chasti kimberlitovyh kar'erov za schet primeneniya novej tekhnologii gornyh rabot/ S. L. Babaskin. *Problemy kar'ernogo transporta. Materialy IX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii*, 9—12 october 2007. Ekaterinburg: UB RAS, 2008. pp. 33— 38. [In Russ]
2. Juravlyov A. G., Budnev A. B. Vliyanie tiporazmera avtosamosvala na razno sbortovkar'era. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2018. no.2. pp. 20— 29. [In Russ] DOI:10.26535/2313-1586.2018.02.020.
3. Bersenev V. A., Semenkin A. V., Sumina I. G. Stroitel'stvokonvejernyhpod"emnikov nabortahkar'erov. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020 no.3— 1. pp. 531 542.[In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-518-529.
4. Sisin A. G., Belobrov V. I., Fajnblit M. A., Akishev A. N. Effektivnost' avtomobil'no-klet'evyh pod'emnikov ANK-120 na glubokihkar'erah. *Gornyj zhurnal*. 1995. no.6. pp. 19— 21. [In Russ]
5. Booklet SiemugTrucklift system. technical information. available at http://www.siemag-tecberg.com/cms/upload/downloads/en_TI_27_Trucklift_e.pdf (accessed 28.12.2020).
6. Franz Wolpers. Thyssenkrupp's Skip Way System offers an alternative. *Engineering and mining journal*. 2016. no.1 pp. 32— 38.
7. Chendyrev M. A. Kompleksnaya model' dlya obosnovaniya parametrov avtomobil'nogo kar'ernogo pod"yomnika. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019. no.11 (SC 37). pp.282— 289.[In Russ]

8. McLaughlin B. Deep shaft hoisting at LaRonde The Penna shaft hoisting plant. CIM (Canadian Mining and Metallurgical) Bulletin. 2004. Vol. 97. no. 1080. pp. 44–50.
9. Despodov Z., Panov Z., Doneva B. Some technical characteristics of shaft hoist machines installed in the shafts of Macedonian lead and zinc mines. The International Journal of Transport & Logistics. 2012. pp. 398–402.
10. Mańka E., Słomion M., Matuszewski M. Constructional features of ropes in functional units of mining shaft hoist. *Actamechanicaet automatica*. 2018. Vol. 12. no. 1. pp. 66–71.
11. Styp-Rekowski, M., Manka, E., Matuszewski, M., Madej, M. and Ozimina, D. Tribological problems in shaft hoist ropes wear process. *Industrial Lubrication and Tribology*. 2015 Vol. 67 no.(1), pp. 47–51. <https://doi.org/10.1108/ILT-01-2014-0004>
12. Braun T., Hennig A., Lottermoser B. G. The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry. *Journal of Sustainable Mining*. 2017. no. 16. pp. 24–30.
13. Smirnyh K. V., Bychkova N. S., Grinevich M. A., Vyatkin A. A., Yunyshev L. V. Osvoenie proizvodstva shahtopod”yomnyh mashinna PAO «Uralmashzavod». *Gornaya promyshlennost’*. 2018. no.2. pp. 22–23. DOI: 10.30686/1609–9192–2018–2-138–22–23. [In Russ]
14. *Shahtnye pod”emnye mashiny PAO «Uralmashzavod». Tekhnicheskie harakteristiki*. [Mining lifting machines. PAO «Uralmashzavod». Technical data]. Available at: <https://uralmash-kartex.ru/shahtnye-podyomnye-mashiny> (accessed 28.12.2020). [In Russ]
15. 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.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Журавлев Артем Геннадиевич¹ – канд. техн. наук, заведующий лабораторией транспортных систем карьеров и геотехники, e-mail: juravlev@igduran.ru;
 Чендырев Михаил Андреевич¹ – младший научный сотрудник лаборатории транспортных систем карьеров и геотехники, e-mail: chendyrev@igduran.ru;
¹ Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zhuravlev A. G., chief of laboratory, Cand. Sci. (Eng.), juravlev@igduran.ru;
 Chendyrev M. A., Junior resercher, Institute of mining, chendyrev@igduran.ru;
¹ Institute of mining Ural branch Russian academy of sciences, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 13.01.2021; получена после рецензии 29.03.2021; принята к печати 10.04.2021.
 Received by the editors 13.01.2021; received after the review 29.03.2021; accepted for printing 10.04.2021.

