

ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ КАРЬЕРНЫХ КАНАТНЫХ ПОДЪЁМНЫХ УСТАНОВОК

Чендырев М.А.

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

Ключевые слова: карьерная наклонная канатная подъёмная установка, автомобильный подъёмник, скиповой подъёмник, технико-экономические показатели транспорта, комбинированный карьерный транспорт, крутонаклонный подъём.

Аннотация. Самоходные виды транспорта обладают высокой маневренностью, но при этом ограничены по углу преодолеваемого уклона и характеризуются высокой себестоимостью, а также необходимостью размещать на бортах карьера большое количество транспортных берм, что вызывает дополнительный их разнос. Одним из решений этой проблемы могут служить наклонные карьерные подъёмные установки (КНКП), которые размещаются перпендикулярно бровкам уступов на борту карьера и имеют кратчайшее расстояние транспортирования. Однако КНКП имеют существенное ограничение: из-за высоких капитальных затрат срок окупаемости составляет длительный период, что сужает область его применения и требует с высокой детальностью прорабатывать период, порядок и технологию его применения. В связи с этим для определения перспективных технико-экономических параметров КНКП проведены расчёты работы внутрикарьерных подъёмных установок, определено поле точек, в которых эффективность комбинированного транспорта «автосамосвалы + КНКП» выше, чем альтернативный вариант транспорта. Путем обобщения данных расчетов установлена область предпочтительного применения КНКП для конкретного месторождения или группы однотипных горно-геологических условий, которая объективно отражается по сравнительной эффективности с альтернативными видами транспорта. Она ограничивается: поверхностью затрат в сравнении с альтернативным транспортом, поверхностью максимально достижимой производительности, а также поверхностями предельных по техническим возможностям грузоподъемностей установки. Применение КНКП в рациональных условиях с максимальной эффективностью позволяет снизить стоимость добычи, продлить срок эксплуатации карьера, и вести добычу без перехода на подземное вскрытие или разноса бортов карьера при большей глубине.

JUSTIFICATION OF THE CONDITIONS FOR THE EFFECTIVE USE OF QUARRY HOIST INSTALLATIONS

Chendyrev M.A.

Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg

Keywords: quarry sloped rope lifting installation, truck lift, skip hoist, technical and economic indicators of transport, combined quarry transport, slope hoist.

Abstract. Self-propelled types of transport have high maneuverability, but at the same time they are limited in the angle of the slope they can overcome and are characterized by high costs, as well as the need to place a large number of transport berms on the sides of the quarry, which causes their additional spread. One solution to this problem can be slope quarry hoist installation (QSHI), which are placed perpendicular to the edges of the ledges on the side of the quarry and have the shortest transportation distance. However, QSHI have a significant limitation: due to high capital costs, the payback period is a long period, which narrows the scope of its application and requires the period, procedure and technology of its application to be worked out in great detail. In this regard, in order to determine the promising technical and economic parameters of the QSHI, calculations of the operation of in-pit lifting installations were carried out, and a field of points was determined at which the efficiency of the combined transport “dump trucks + QSHI” is higher than the alternative transport option. By summarizing these calculations, the area of preferable application of QSHI for a specific deposit or group of similar mining and geological conditions has been established, which is objectively reflected in its comparative effectiveness with alternative modes of transport. It is limited by: the surface of costs in comparison with alternative transport, the surface of the maximum achievable productivity, as well as the surface of the maximum technical capabilities of the installation's load-carrying capacity. The use of QSHI in rational conditions with maximum efficiency makes it possible to reduce the cost of production, extend the life of the quarry, and carry out production without switching to underground opening or spreading the sides of the quarry at greater depths.

Введение

В исследовании используется термин канатная наклонная карьерная подъёмная установка (КНКП) – подъёмная установка, имеющая канатный тяговый орган, приводящий в

движение систему из одного или нескольких сосудов. В данном исследовании рассматриваются разновидности КНКП, предусматривающая использование шкива трения и соответственно двух подъёмных сосудов (скипов либо платформ), уравнивающих друг друга через систему отклоняющих шкив:

– АНКП – автомобильная наклонная карьерная подъёмная установка, использующая для подъёма горной массы платформы для размещения гружёного и порожнего автосамосвалов;

– СНКП – скиповая наклонная карьерная подъёмная установка, использующая для подъёма горной массы скипы, приёмный и разгрузочные бункеры.

Технология, схемы, порядок размещения КНКП рассматривается в научно-технической литературе [1-10], однако развитие технологий и оборудование для вертикального и наклонного подъема, а также появление значительного количества глубоких карьеров с ограниченными размерами в плане, потребовало актуализировать исследования в данном направлении. Некоторые специфические работы рассматривают использование погрузочно-доставочных машин на базе фронтальных погрузчиков [11] либо специализированных шасси [12] с откаткой горной массы до крутонаклонных подъемников, что делает КНКП в условиях сжатого пространства рабочей зоны потенциально перспективными.

В общем виде рассматриваемая схема размещения КНКП при разработке месторождения открытым способом представлена на рисунке 1. Для размещения подъёмной установки на борту карьера необходимо заблаговременно привести борт карьера в конечное или временно законсервированное положение (1 этап). В период строительства подъёмной установки происходит разнос рабочего борта карьера. После введения подъёмной установки в эксплуатацию происходит приведение угла рабочего борта к конечному (угол α_2) и углубление карьера (этап 2).

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 (этап 3) [13, 14].

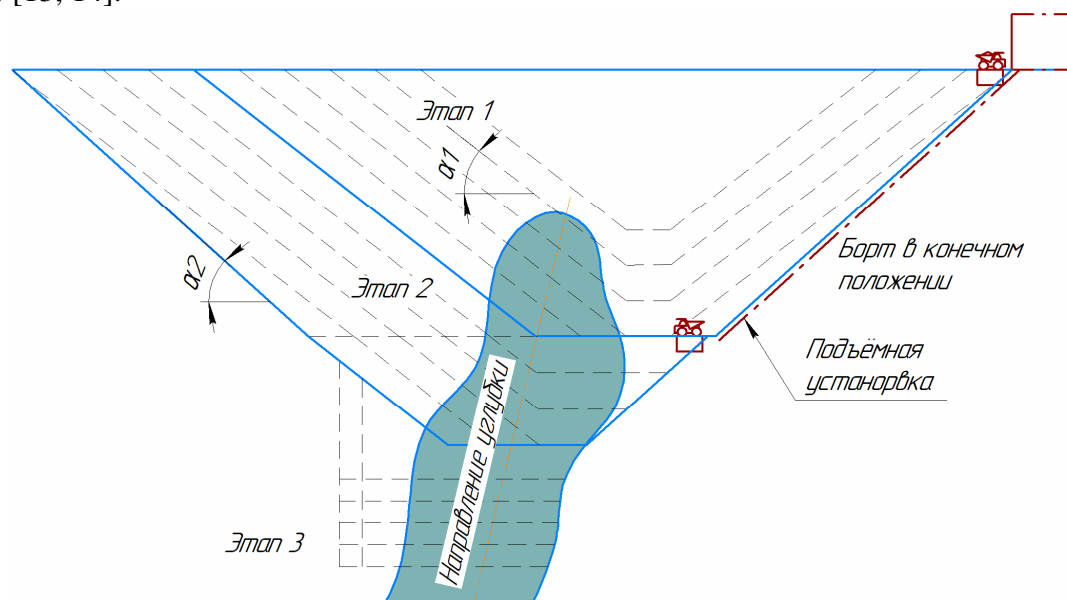


Рис. 1. Этапы разработки карьера с применением КНКП

Материалы и методы исследований

Годовая производительность установки определяется, исходя из её грузоподъёмности, времени цикла и годового фонда рабочего времени.

Для предотвращения проскальзывания канатов применена пятипериодная тахограмма движения, максимальная скорость подъёма – 5 м/с. Исходя из высоты подъёма, рассчитывается время цикла. Также учитывается пауза на смену самосвалов на платформе /

разгрузку самосвала в скип / загрузку скипа из перегрузочного бункера. Подробные расчёты описаны в статьях [15, 16].

Капитальные затраты включают в себя строительство здания подъёмных машин, строительство, бетонирование траншеи, закупку оборудования – подъёмных машин, отклоняющих шкивов, рельсового пути, мостового крана для обслуживания, электрических машин, доставку и монтаж оборудования.

Эксплуатационные затраты включают в себя затраты на электроэнергию, канаты, эксплуатационные материалы, футеровку шкивов, ремонтные и цеховые расходы, оплату труда персонала.

При этом происходит сокращение затрат на автомобильный транспорт, благодаря существенному уменьшению расстояния транспортирования: сокращение парка автосамосвалов, сокращение пробега самосвала за один рейс, сокращение расхода топлива за счёт работы двигателя на холостых оборотах при подъёме / спуске на установке.

Для сокращения затрат на строительство и эксплуатации дорог [17, 18] возможно снижение их категории, так как они уже не используются для постоянного движения сборочного транспорта, уменьшения их ширины с двухполосных дорог до однополосных дорог с площадками разминки. За счёт сокращения ширины транспортных коммуникаций на этом снижается разнос бортов.

Анализ показал, что наиболее близким вариантом для сравнения с рассматриваемым транспортом является автомобильный транспорт. Это объясняется тем, что:

– автомобильно-железнодорожный транспорт не применим с одной стороны, в условиях сжатого в плане карьера – из-за малого преодолеваемого угла подъёма и большого радиуса кривых в плане, с другой стороны, в условиях крупного карьера ж/д транспорт будет иметь несравнимо большую производительность и, очевидно, меньшую себестоимость;

– автомобильно-конвейерный транспорт в сравнении с высокопроизводительным КНКП имеет преимущество за меньших капитальных затрат, а по производительности превосходит КНКП, однако в глубоких карьерах с относительно небольшими размерами в плане вызывает сложности размещение конвейерных подъемников ввиду их ограниченного угла наклона (до 16° , в отдельных случаях до 18°) и делает их применение в этих условиях нерациональным либо вызывает необходимость формирования крупной траншеи, строительства большого количества перегрузок между конвейерными ставами в условиях их размещения по радиусу; таким образом области применения данных видов транспорта не пересекаются и не требуют технико-экономического сравнения в сходных условиях;

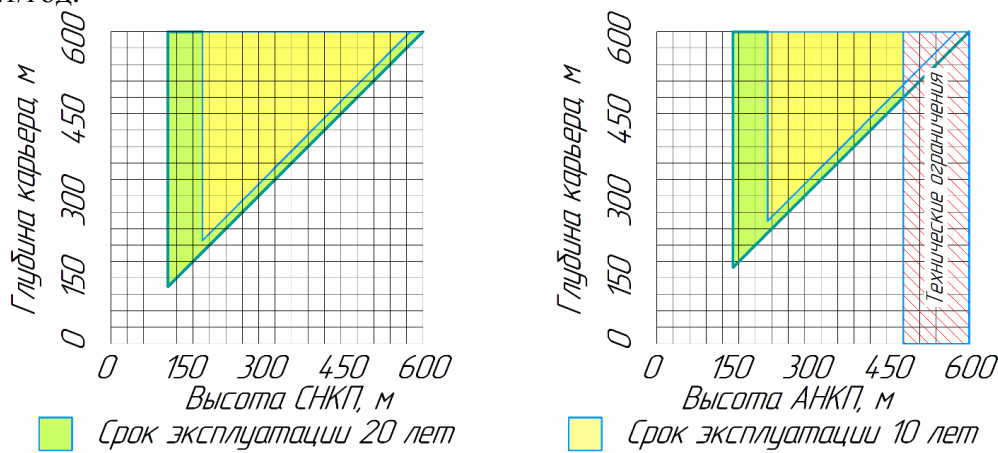
– автомобильно-конвейерный транспорт [19] с крутонаклонным конвейером аналогично вышеуказанному обладает меньшими капитальными затратами в сравнении с КНКП, но имеет более высокие эксплуатационные и капитальные затраты, связанные со сложностью строительства и обслуживания, в условиях ограниченного в плане карьера несмотря на подъём по кратчайшей траектории должен иметь в своём составе дробильно-перегрузочную установку с передаточным конвейером, для размещения которых требуется много места, а также даёт переподъём горной массы; таким образом области применения данных видов транспорта также не пересекаются и не требуют технико-экономического сравнения в сходных условиях;

– автомобильный транспорт [20] имеет минимальные требования к подготовке транспортных коммуникаций, проще в обслуживании и эксплуатации, однако для глубоких карьеров у него будет самая высокая себестоимость подъёма среди перечисленных; также с глубиной увеличивается влияние разноса бортов за счёт транспортных коммуникаций [21];

В связи с вышесказанным расчёты в данной статье выполняются в сравнении с базовым автомобильным транспортом (карьер на всю глубину вскрыт автомобильными съездами).

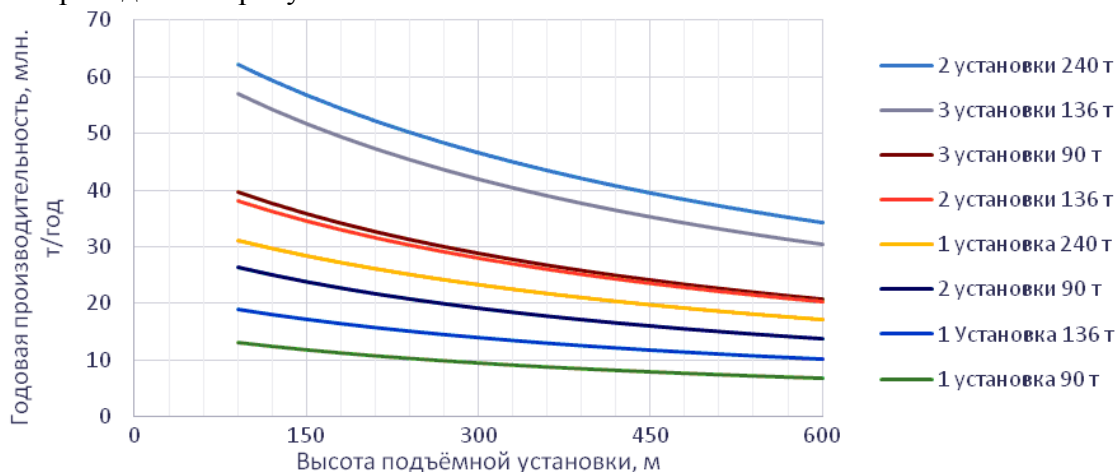
На основе методики расчётов [15] определяется поле точек, в которых эффективность комбинированного транспорта «автосамосвалы + КНКП» выше, чем альтернативный вариант транспорта [22]. Далее это поле точек обрабатывается методом интерполяции и определяется граница предпочтительных условий применения для данных горно-геологических (горно-технологических) условий.

На рисунке 2 представлен пример таких ограничений для вариантов СНКП, АНКП при следующих характеристиках: максимальная глубина карьера до 600 м, грузоподъемность автосамосвалов 240 тонн, срок эксплуатации от 10 до 20 лет, годовой грузооборот 10-25 млн.т/год.



Видно, что КНКП целесообразно применять с определённой глубины карьера, причём чем больше срок эксплуатации подъёмника, тем шире диапазон его применения на конкретном месторождении и выше суммарный экономический эффект. Важную роль играют технические ограничения, связанные с прочностью строительных несущих конструкций, а также приводов и тяговых органов.

Расчёты показали, что КНКП имеет ограниченную производительность, уменьшающуюся с увеличением высоты подъёма. В связи с этим для карьеров с высокой производственной мощностью производительности одного подъёмника даже при максимальных его параметрах может оказаться недостаточно. Необходимо либо устанавливать несколько подъёмников в карьере, либо применять более высокопроизводительный вид транспорта (например, конвейерный). Результаты советующих расчётов приведены на рисунке 3.



Следовательно, КНКП следует выбирать не только по наилучшим технико-экономическим показателям, но и исходя из горно-технологических требований, а также конструктивных и инженерно-строительных ограничений. Учёт совокупности всех этих факторов формирует специфическую область применения КНКП.

Установлено, что область предпочтительного применения КНКП для конкретного месторождения или группы однотипных горно-геологических условий объективно отражаются по сравнительной эффективности с альтернативными видами транспорта и ограничиваются: поверхностью затрат в сравнении с альтернативным транспортом,

поверхностью максимально достижимой производительности, а также поверхностями предельных по техническим возможностям грузоподъемностей установки.

На рисунках 4 и 5 представлены графики иллюстрирующие области экономически эффективного применения КНКП, ограничивающаяся предельно возможной производительностью установки, прочностью подъёмных канатов и стоимостью перевозки в сравнении с автомобильным транспортом

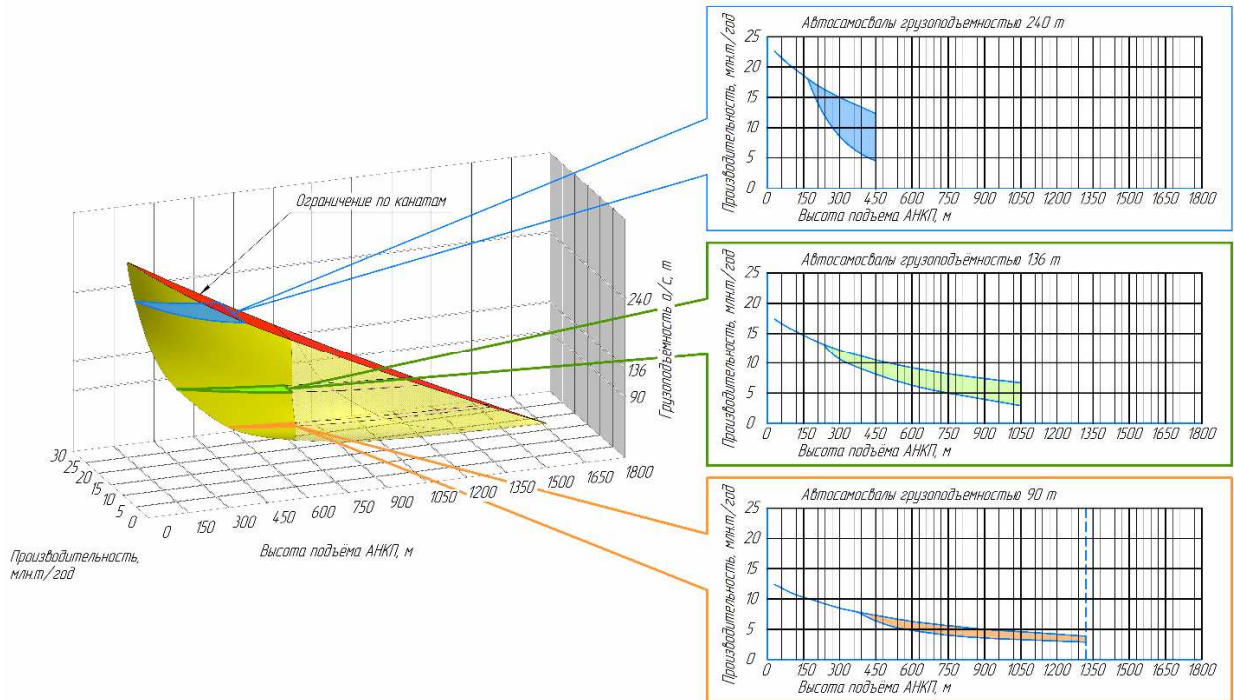


Рис. 4. Определение области применения АНКП

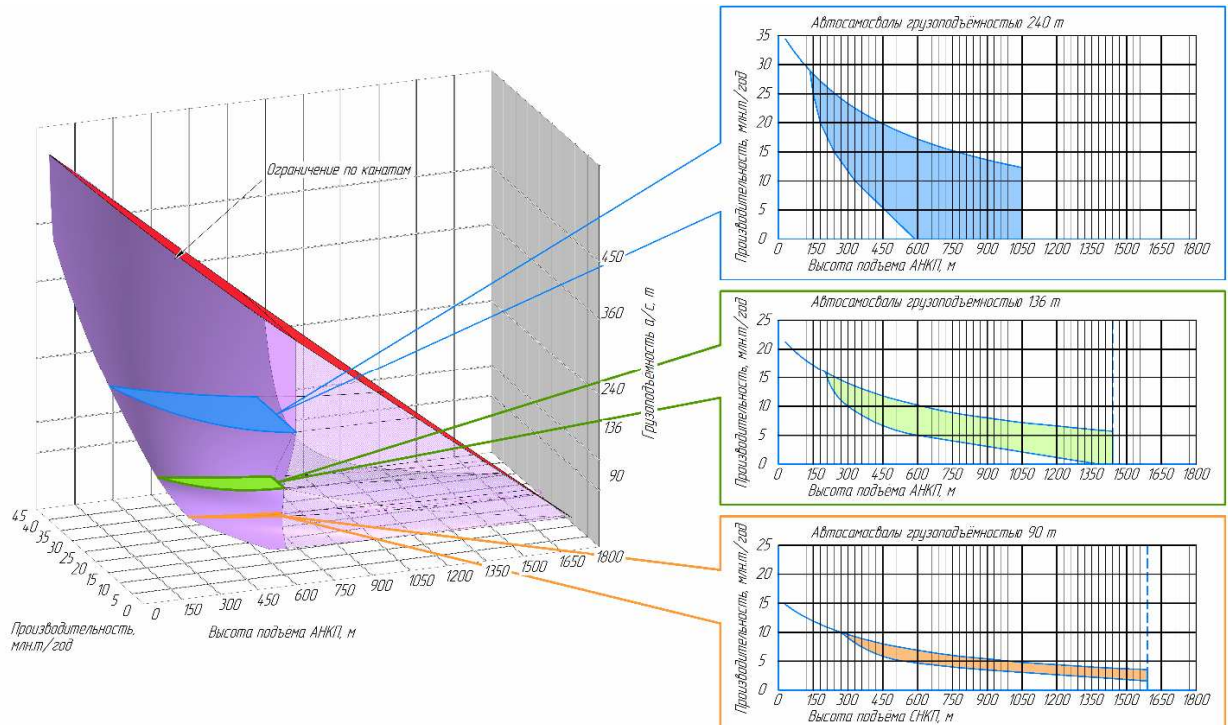


Рис. 5. Определение области применения КНКП

Левая часть объёмной фигуры – данные для известных на практике параметров карьеров, правая полупрозрачная часть графика (после 600 метров) – теоретическая расчетная проработка, т.к. опыт реального применения наклонного подъёма на такой глубине отсутствует.

В итоге, область применения КНКП ограничивается рядом факторов:

- относительно невысокой производительностью одной установки – от 10 до 25 млн.т/год;
- большой глубиной карьера – не менее 350-400 метров;
- наличием горно-технологической возможности выполнения прямолинейной траншеи в борту карьера для движения платформ;
- наличием горно-технологической возможности выведения борта карьера в конечное положение, либо его консервации на длительный срок;
- срок эксплуатации карьера должен составлять не менее 15-20 лет, для лучшей окупаемости;
- форма и параметры карьера таковы, что сокращение ширины и протяжённости постоянных автодорог на борту карьера в зоне действия КНКП обеспечивают существенный экономический эффект от сокращения объёмов вскрыши;
- наличие прочных пород, складывающихся борт карьера в зоне строительства КНКП.

Наиболее подходящими по данным параметрам являются кимберлитовые трубки, которые характеризуются большой глубиной добычи, относительно небольшой производительностью и «чувствительностью» к объёму разноса бортов, так же вмещающие породы позволяют не бетонировать траншею для движения скипов.

По мере научно-технического прогресса совершенствуются материалы, технологии строительства. При положительном прогрессе в этом направлении можно рассчитывать на снижение капитальных затрат, что расширит область применения как автомобильных, так и скиповых подъемников [16].

Выводы

1. Разработана расчётная схема применения КНКП при открытой разработке. На первом этапе разработка месторождения ведётся со вскрытием всех горизонтов только автомобильным транспортом до глубины, соответствующей моменту ввода КНКП, который определяется технико-экономическим расчётом для конкретных горно-геологических условий. На втором этапе после ввода подъёмника в эксплуатацию осуществляется перевод автосъездов в однополосное исполнение с площадками разминовки на высоту действия КНКП. Нижние рабочие горизонты вскрываются двухполосными автомобильными съездами. За счёт этого угол наклона конечных бортов карьера становится выше, а себестоимость транспортирования уменьшается за счёт частичного его подъёма с помощью КНКП.

2. КНКП имеет ограниченную производительность, которая для наиболее вероятных высот 300-450 м составляет 8-12 млн.т/год на один подъёмник при грузоподъёмности автосамосвалов 136 тонн. Более высокую производительность карьера можно обеспечить за счёт установки нескольких подъёмников. Однако такой вариант целесообразен при использовании специализированных облегчённых КНКП, несущими элементами которого являются не железобетонные, а металлические конструкции либо канаты.

3. По результатам исследования установлена область применения карьерных канатных наклонных подъёмных установок, которая определяет основные ограничения и возможные перспективы применения данного вида транспорта.

4. Используя разработанный комплекс компьютерных и математических моделей, возможно быстро произвести оценку технико-экономических показателей и эффективности применения КНКП для конкретного месторождения или группы горно-технологических условий. Данная методика может быть использована как для выбора вида транспорта на этапе проектирования – для оценки возможности применения, так при доработке глубоких карьеров за счёт увеличения угла борта в зоне действия подъёмной установки и большего извлечения полезного ископаемого из недр без перехода на подземную выработку и разноса бортов карьера.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках Государственного задания №075-00412-22 ПР. Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1, рег. № 123012300005-3.

Список литературы

1. Долинин К.А. Опыт проектирования и строительства на сибайском карьере первого в СССР наклонного скипового подъемника // Материалы III всесоюзной научно-технической конференции по карьерному транспорту. – Свердловск, 1973. – С. 331-341.
2. Садыков Е.Л. Повышение эффективности многоканатных наклонных подъемных установок: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УГГУ, 2011. – 159 с.
3. Кулешов А.А., Тарасов Ю.Д. Автомобильный карьерный подъемник с автономным приводом // Известия вузов. Горный журнал. – 2001. – №1. – С. 53-56.
4. Белобров В.И., Кабанов В.А., Наумов С.С., Никифоровский А.Н. Механико-гидравлический фрикционный подъемник для карьеров // Известия вузов. Горный журнал 1988. – №4. – С. 9-14.
5. Патент №839967 РФ. Шахтный многоканатный подъемник / В.И. Вавиловский, И.С. Назаренко, А.А. Сорокин, С.С. Ястребов, М.Н. Карпов, В.В. Вавиловский, Ю.В. Богданов. – Заявка №2813637 от 03.09.1979: опубл. 23.06.1981, Бюл. №23.
6. Патент №2636634 РФ. Крутонаклонная конвейерная установка для открытой горной выработки / К. Верре, Ф.М. Вольперс, Д. Папажевски, В. Раац. – Заявка № 2014132232 от 30.01.2013; опубл. 20.03.2016, Бюл. №33.
7. Сисин А.Г., Белобров В.И., Файнблит М.А., Акишев А.Н. Эффективность автомобильно-клетевых подъемников АНК-120 на глубоких карьерах // Горный журнал. – 1995. – №6 – С. 19-21.
8. Патент №2069637 РФ. Устройство для транспортирования грузов / А.Ю. Макеев, А.П. Комиссаров. – Заявка № 93008412/11 от 09.02.1993; опубл. 20.04.1995.
9. Маренков И.С., Иванов М.С., Ефимова О.И., Букина В.В., Андреев М.Н. Способы повышения производительности горнотранспортного комплекса глубокого карьера // Евразийский союз ученых. – 2015. – №6(15) – С. 136-140.
10. Wolpers F. Thyssenkrupp's Skip Way System offers an alternative // Engineering and mining journal. –2016. – № 1. – С. 32-38.
11. Журавлев А.Г., Черных В.В. Граничные технико-экономические показатели применимости фронтальных погрузчиков при работе в качестве выемочно-транспортных машин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, №5. – С. 186-195. – DOI: 10.18799/24131830/2022/5/3500.
12. Журавлев А.Г., Кардашин Е.Д. Концепция карьерной выемочно-транспортной машины // Проблемы недропользования. – 2022. – №4. – С. 94-104. – DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.094.
13. Гавришев, С.Е., Калмыков, В.Н., Бурмистров, К.В., Томилина, Н.Г., Заляднов, В.Ю. Оценка эффективности схем вскрытия законтурных запасов с применением карьерных подъемников // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1(45). – С. 7-11.
14. Бурмистров К.В., Кидяев В.А., Томилина Н.Г., Гавришев С.Е. Применение ресурсосберегающих технологических схем транспортирования горной массы на заключительных этапах открытых горных работ // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2013. – Т. 3, № 1. – С. 168-179.
15. Чендырев М.А. Комплексная модель для обоснования параметров автомобильного карьерного подъемника // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №S37. – С. 282-289. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-282-289.
16. 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.
17. Журавлев А.Г., Черепанов В.А., Карпов В.А., Невежин А.Ю. Рекомендации по эксплуатации и улучшению качества содержания карьерных автодорог Олимпиадинского и Благодатного горно-обогатительных комбинатов // Горная промышленность. – 2023. – № 5. – С. 88-95. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5-88-95.
18. Kansake B.A., Frimpong S., Nyaaba W., Ateng I.A. Three-dimensional finite element modeling of haul road response to ultra-large dump truck dynamic loading // Mining, Metallurgy & Exploration. 2023, vol. 40(1), pp. 315-335. DOI: 10.1007/s42461-022-00725-7.
19. Журавлев А.Г., Семенкин А.В., Черепанов В.А., Глебов И.А., Чендырев М.А. Задачи развития перспективных циклично-поточных технологий для глубоких карьеров // Горная промышленность. – 2022. – №1S. – С. 53-62. – DOI: 10.3686/1609-9192-2022-1S-53-62.
20. Журавлев А.Г. Выбор рациональной грузоподъемности карьерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования // Транспорт Урала. – 2014. – №4. – С. 96-101.
21. Черепанов В.А., Глебов И.А. Факторы, влияющие на схему вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением наклонных подземных транспортных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 351-367. – DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367
22. Журавлев А.Г. Моделирование параметров транспортных систем карьеров // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». – 2015. – №12. – С. 22-26.

References

1. Dolinin K.A. The experience of designing and building the first inclined skip lift in the USSR at the Sibaysky quarry // Materials of the III All-Union Scientific and Technical conference on quarry transport. – Sverdlovsk, 1973. – P. 331-341.

2. Sadykov E.L. Improving the efficiency of multi-channel inclined lifting systems: Abstract ... cand. of tech. sc. – Ekaterinburg: USMU, 2011. – 159 p.
3. Kuleshov A.A., Tarasov Y.D. Автомобильный карьерный подъемник с автономным приводом // News of universities. Mining journal. 2001, no. 1, pp. 53-56.
4. Belobrov V.I., Kabanov V.A., Naumov S.S., Nikiforovskij A.N. Mechanical and hydraulic friction lift for quarries // News of universities. Mining journal. 1988, no. 4, pp. 9-14.
5. Patent No. 839967 RU. Multi-channel mine lift / V.I. Vavilovskij, I.S. Nazarenko, A.A. Sorokin, S.S. Yastrebov, M.N. Karpov, V.V. Vavilovskij, Yu.V. Bogdanov. – Appl. No. 2813637 from 03.09.1979; publ. 23.06.1981, Bul. No. 23.
6. Patent No. 2636634 RU. Steeply inclined conveyor system for open-pit mining / K. Verre, F.M. Vol'pers, D. Papazhevski, V. Raac. – Appl. No. 2014132232 from 30.01.2013; publ. 20.03.2016, Bul. No. 33.
7. Sisin A.G., Belobrov V.I., Fajnbli M.A., Akishev A.N. The efficiency of the ANK-120 car-cage lifts in deep quarries // Mining journal. 1995, no. 6, pp. 19-21.
8. Patent No 2069637 RU. A device for transporting goods / A.Yu. Makeev, A.P. Komissarov. – Appl. No. 93008412/11 from 09.02.1993; publ. 20.04.1995.
9. Marenkov I.S., Ivanov M.S., Efimova O.I., Bukina V.V., Andreev M.N. Ways to increase the productivity of the mining and transport complex of a deep quarry // Eurasian Union of Scientists. 2015, no. 6(15), pp. 136-140.
10. Wolpers F. Thyssenkrupp's Skip Way System offers an alternative // Engineering and mining journal. 2016, no. 1, pp. 32-38.
11. Zhuravlev A.G., Chernyh V.V. Boundary technical and economic indicators of the applicability for front loaders working as excavation and transportation machines // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2022, vol. 333, no. 5, pp. 186-195. DOI: 10.18799/24131830/2022/5/3500.
12. Zhuravlev A.G., Kardashin E.D. Concept of a quarry excavation and transport machine // Problems of subsurface use. 2022, no. 4, pp. 94-104. DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.094.
13. Gavrishchev, S.E., Kalmykov, V.N., Burmistrov, K.V., Tomilina, N.G., Zalyadnov, V.Yu. Performance evaluation of opening supplies schemes with the use of quarry lifts // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 2014, no. 1(45), pp. 7-11.
14. Burmistrov K.V., Kidyayev V.A., Tomilina N.G., Gavrishchev S.E. Application of resource technological schemes transportation of rocks in the final stage of open cast mining // Modern problems of the Russian transport complex. 2013, vol. 3, no. 1, pp. 168-179.
15. Chendyrev M.A. An integrated model for verifying the open pit automobile hoist parameters // Mining information and analytical bulletin. 2019, no. S37, pp. 282-289. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-282-289.
16. Zhuravlev A.G., Chendyrev M.A. Computer modeling-based substantiation of effective application conditions for inclined rope hoists in open pit mines // Mining information and analytical bulletin. 2021, no. 5-2, pp. 309-321. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_309.
17. Zhuravlev A.G., Cherepanov V.A., Karpov V.A., Nevezhin A.Y. Recommendations on operation and improvement in the quality of in-pit road maintenance at the Olympiadinsky and Blagodatny mining and processing plants // Mining industry. 2023, no. 5, pp. 88-95. – DOI: 10.30686/1609-9192-2023-5-88-95.
18. Kansake B.A., Frimpong S., Nyaaba W., Ateng I.A. Three-dimensional finite element modeling of haul road response to ultra-large dump truck dynamic loading // Mining, Metallurgy & Exploration. 2023, no. 40(1), pp. 315-335. DOI: 10.1007/s42461-022-00725-7.
19. 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 // Mining industry. 2022, no. 1S, pp. 53-62. DOI: 10.3686/1609-9192-2022-1S-53-62.
20. Zhuravlev A.G. Choice of rational capacity of haul trucks for specific transportation conditions // Transport of Ural. 2014, no. 4, pp. 96-101.
21. Cherepanov V.A., Glebov I.A. Factors influencing the opening scheme deep horizons of quarries with the use of sloping underground transport development // Mining information and analytical bulletin. 2020, no. 3-1, pp. 351-367. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-351-367.
22. Zhuravlev A.G. Modeling of parameters of quarry transport systems // Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information. 2015, no. 12, pp. 22-26.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Чендырев Михаил Андреевич – научный сотрудник	Chendyrev Mikhail Andreevich – researcher
Chendyrev@igduran.ru	

Получена 26.02.2024