

НАРАЩИВАЕМЫЕ БАШЕННЫЕ ПОДЪЕМНИКИ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГОРНОЙ МАССЫ

В. И. Точилин

АО «Спецтехномаш», Красноярск

Аннотация: дан анализ предлагаемых способов сокращения объемов вскрыши при разработке беднотоварных и малообъемных алмазородных месторождений при внедрении принципов неиспользования борта карьера в качестве конструктивного элемента для размещения транспортных коммуникаций, в том числе с использованием безбермовых конструкций нерабочих бортов. Показана возможность использования для данных геотехнологий кабельных кранов и наращиваемых башенных подъемников (НБП). В том числе показана возможность использования НБП при доработке подкарьерных запасов и установке на периодически понижаемой подошве карьера нескольких НБП. При этом возможно оснащение части НБП скиповыми подъемными установками. Предложено рассмотреть вопрос создания стрелового комбайна с молотковым ротором. Проанализирована возможность применения кабельных кранов с учетом новых разработок и внедрения дистанционно управляемого, роботизированного оборудования и на их основе – безлюдных технологий работы в карьерном пространстве. Рассмотрена возможность применения НБП без буровзрывных работ в сочетании с новым инерционно-ударным способом послойного разрушения горных пород. Выполнены расчеты пропускной способности транспортного моста для вариантов горизонтального циклического перемещения горной массы с использованием самоходной вагонетки и ленточного конвейера. Проанализирована возможность обеспечения годовой пропускной способности транспортного моста до 1,1 млн м³/год и использования ленточного конвейера для селективной доставки горной массы при указанной производительности. Показана целесообразность использования в схемах электропитания кинетических накопителей энергии, которые позволяют значительно снизить пиковые нагрузки в электросети и повысить энергоэффективность подъемной установки НБП и механизма перемещения самоходной вагонетки.

Ключевые слова: безбермовый нерабочий борт, доработка подкарьерных запасов, кабельные краны, наращиваемые башенные подъемники, перемещение горной массы.

Для цитирования: Точилин В.И. Наращиваемые башенные подъемники, выбор оборудования для горизонтального транспортирования горной массы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–2. – С. 101–113. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_101.

Stackable tower lifts, selection of equipment for horizontal transportation of rock mass

V.I. Tochilin

JSC "Spetstechnomash", Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The article is devoted to the analysis of the proposed ways to reduce the volume of opening in the development of poor-commodity and low-volume diamond ore deposits with the introduction of the principles of non-use of the quarry board as a structural element for the placement of transport communications, including the use of armorless structures of non-working boards. The possibility of using cable cranes and built-up tower lifts (NBP) for geotechnology data is shown. In particular, the possibility of using NBP in the refinement of sub-quarry stocks and the installation of several NBPs on the periodically lowered sole of the quarry is shown. At the same time, it is possible to equip part of the NBP with skip lifting units. It is proposed to consider the issue of creating a boom harvester with a hammer rotor. The possibility of using cable cranes is analyzed, taking into account new developments and the introduction of remotely controlled, robotic equipment and, on their basis, unmanned technologies for working in the quarry industry. The possibility of using NBP without drilling and blasting operations in combination with a new inertial-shock method of layer-by-layer destruction of rocks is considered. Calculations of the capacity of the transport bridge for variants of horizontal cyclic movement of the rock mass using a self-propelled trolley and a belt conveyor were carried out. The possibility of providing an annual capacity of a transport bridge of up to 1.1 million is shown. m³/year and the possibility of using a belt conveyor for selective delivery of rock mass at the specified capacity. The expediency of using kinetic energy storage devices in power supply schemes is shown, which will significantly reduce peak loads in the power grid and increase the energy efficiency of the NBP lifting unit and the mechanism for moving a self-propelled trolley.

Key words: beanless non-working board, refinement of quarry stocks, cable cranes and stackable tower lifts, movement of rock mass.

For citation: Tochilin V.I. Stackable tower lifts, selection of equipment for horizontal transportation of rock mass. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–2):101–113. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_101.

Введение

Одним из основных направлений в решении проблемы восполнения и расширения минерально-сырьевой базы алмазодобычи, стоящей перед Россией в целом и ПАО АК «АЛРОСА», является эксплуатация бедноватых месторождений и доработка законтурных запасов ряда существующих карьеров. Для решения указанной проблемы требуется поиск и внедрение ранее не использовавшихся технологий ведения горных работ. В том числе для обеспечения экономической эффективности открытого способа добычи на указанных месторождениях требуется внедрение технологий, обеспечивающих сокращение объемов вскрыши в 5–7 раз. В качестве одного из наиболее перспективных направлений, обеспечивающих резкое сокращение объ-

емов вскрыши, ПАО АК «АЛРОСА» рассматривает новые геотехнологии с безбермовой конструкцией нерабочих бортов. В частности, на Нюрбинском ГОКе предлагается выполнить доработку месторождения с выемкой запасов руды открытым способом с применением буровзрывных работ и последующей транспортировкой горной массы шарнирно-сочлененными самосвалами по заранее выполненному до конечной глубины подземному спиральному транспортному съезду. Данная технология позволяет обеспечить снижение объемов вскрыши в 8 раз [1].

Указанная выше технология и ряд других предлагаемых технических решений основаны на принципе отказа от использования борта карьера в качестве конструктивного элемента для размещения транспортных комму-

никаций [2 – 5], что обеспечивает возможность вести выемку только рудного тела и непосредственно прилегающих к нему пород.

К технологиям, использующим принцип отказа от использования борта карьера в качестве конструктивного элемента для размещения транспортных коммуникаций, в том числе, относятся и технические решения с использованием в качестве грузоподъемного оборудования для подъема горной массы на дневную поверхность или промежуточный горизонт наращиваемых башенных подъемников и кабельных кранов [2,3].

Институтом «Якутнипроалмаз» и рядом других организаций разработан и введен в действие ГОСТ Р 58148 – 2018 «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне. Требования к проектированию», определяющий требования к проектированию алмазодобывающих предприятий с открытым способом разработки в криолитозоне.

Указанным стандартом предусматривается возможность применения наращиваемых башенных подъемников (НБП) и кабельных кранов. На основе исследований, выполненных Институтом горного дела УрО РАН и Институтом «Якутнипроалмаз», определена оптимальная область применения НБП и кабельных кранов – отработка небольших месторождений с невысоким содержанием алмазов в руде [6]. По мнению автора, не менее рационально их применение для доработки подкарьерных запасов [7]. Конструктивные параметры НБП: масса от 320 до 470 т [2], размеры в плане: при опоре на портал 16х16 м, при опоре на основание башни 6х6 м (рисунок), обеспечивают возможность установки на периодически понижающейся подошве карьера нескольких НБП. При этом

появляется возможность использования НБП, оснащенных скиповыми подъемными установками.

Кабельные краны длительное время эксплуатируются в России и за рубежом в строительстве и промышленности, в том числе горной. Учитывая наличие перспектив по применению дистанционно управляемого добычного оборудования, работающего на дне карьера, автором данной статьи в 2009 г. было предложено использовать кабельные краны в качестве основного подъемного устройства при разработке малых кимберлитовых трубок. По имеющимся на тот период времени данным, применение кабельных кранов для разработки кимберлитовых трубок ранее не предлагалось и не рассматривалось. Это объясняется практической невозможностью безопасного использования в карьерах большой глубины и малых поперечных размеров кабельных кранов в сочетании с традиционной добычной техникой, управляемой людьми, так как персонал должен был практически все время находиться в опасной зоне «под грузом» [3].

Применение в горном деле дистанционно управляемого и роботизированного оборудования в настоящее время является одним из наиболее перспективных способов повышения технико-экономических показателей горного производства в мировой практике [8 – 10]. В России также ведутся работы по научно-техническому обоснованию оптимизации параметров карьеров и организации управления открытыми горными работами применительно к возможностям, создаваемым дистанционно управляемым и роботизированным оборудованием, являющимся основой безлюдных технологий [11]. Разрабатываются требования к отечественной роботизированной горной технике и к встраиваемому

в горные машины электронному оборудованию, создаются и проходят испытания опытные образцы [12]. При этом значимые научные результаты и успешное применение дистанционно управляемого горнотранспортного оборудования получены ПАО АК «АЛРОСА» в условиях карьера «Удачный» [13].

Наличие практической возможности применения в настоящее время дистанционно управляемой и роботизированной добычной и транспортной техники позволяет обеспечить безопасное ведение горных работ в ограниченном пространстве на подошве карьера кимберлитовой трубки. Соответственно, это становится значимым условием для принятия решения по созданию опытно-промышленного участка горных работ с использованием в качестве подъемного устройства кабельного крана, что предусмотрено требованиями указанного выше ГОСТ Р 58148 – 2018.

Наращиваемые башенные подъемники (НБП) предлагается использовать для транспортировки горной массы на дневную поверхность или промежуточный горизонт при доработке карьеров с подошвы карьера, периодически понижающейся, на шаг наращивания башни 4,5 м (см. рисунок). Перед подъемом погрузочно-доставочные машины загружают горную массу в транспортные сосуды. Вертикальный подъем с глубины до 100 – 150 м выполняется грузоподъемным клетьевым подъемником, размещенным в наращиваемой башне НБП. Далее горизонтальное перемещение горной массы выполняется по транспортному мосту НБП [2].

При рассмотрении вариантов использования НБП необходимо учитывать, что они предназначены для работы в составе комплексов безвзрывной технологии добычи кимберлитовой руды [2]. Разработка эффективных безвзрывных технологий важна как для обеспечения сохран-

ности НБН и другого оборудования в условиях ограниченного пространства подошвы карьера, так и для повышения устойчивости крутонаклонных уступов, являющихся основой безбермовых конструкций бортов. ИГД СО РАН предложено вести послойное разрушение поверхности наклонных уступов с углом наклона до 90° инерционно-ударным способом стругом, рабочим органом в виде молоткового ротора. Далее разрыхленная горная масса вынимается колесным погрузчиком и транспортируется автосамосвалами [14]. Указанная технология может быть эффективно использована без автосамосвалов, с погрузкой горной массы кабельными кранами или колесными погрузчиками в транспортные контейнеры НБП [2] и дальнейшей их транспортировкой. При этом, исходя из шага углубки карьера 4,5 м при использовании НБП, предлагается устанавливать на существующие стреловые комбайны вместо фрезерных рабочих органов молотковые роторы. Комбайны должны быть адаптированы для открытых горных работ в северных условиях. Также возможна работа НБП совместно со стреловыми фрезерными комбайнами, в частности вариант применения стреловой фрезерной машины [15].

Материалы и методы исследований

Наращиваемые башенные подъемники можно классифицировать как подъемное сооружение, относящееся к новому типу грузоподъемных машин (ГПМ).

НБП (см. рисунок) предлагается выполнить по схеме, сочетающей конструкции, механизмы и функции различных типов ГПМ:

- транспортного моста по типу мостового перегружателя полукозловой схемы с короткой жесткой опорой и шарнирной опорой в виде башни;
- башни, используемой в качестве шарнирной опоры транспортного

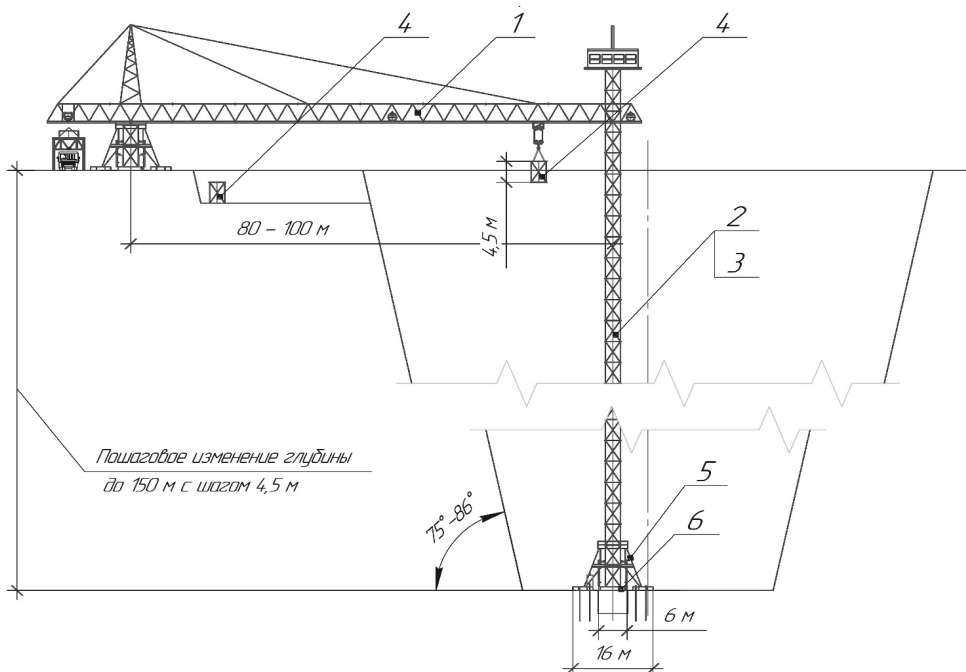


Рис. Нарастиваемый башенный подъемник: 1 — транспортный мост; 2— башня; 3— встроенный клетевой подъемник, 4— секция башни, 5 — портал; 6 — основание башни

Fig. Stackable tower lift: 1 — transport bridge; 2— tower; 3— built-in cage lift, 4— tower section, 5 — portal; 6 — tower base

моста НБП, оснащенной одновременно механизмом наращивания и механизмом самоподъема (опускания) по типу башенных кранов;

– встроенного в башню подъемного устройства в сочетании элементов крановых механизмов подъема, клетевых или подъемных машин.

Учитывая предлагаемые конструктивные решения, основанные на использовании известных механизмов различных типов ГПМ, наращиваемые башенные подъемники «напрямую» не относятся к известным типам ГПМ. Соответственно, на них формально не распространяются нормативные документы на подъемные сооружения, ГПМ или шахтные подъемные установки (ШПУ). При этом к однотипным по конструкции и назначению элементам предъявляют значи-

тельно различающиеся нормативные требования. Наиболее значимы различия в нормативах по выбору диаметров канатов, барабанов, блоков и направляющих шкивов, определяющих размеры и, соответственно, массу механизмов, сроки службы канатов. Барабаны и блоки грузоподъемных кранов выбираются по требованиям ГОСТ 33710—2015. Барабаны и направляющие шкивы ШПУ выбирают согласно «Правилам безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых», утвержденным Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, Приказ от 8 декабря 2020 года N 505. При этом, как следует из табл. 1. Разница между максимальной величиной отношения диаметра навивки к диаметру каната (78 раз для однока-

Таблица 1

Нормативные требования по соотношению диаметров канатов и диаметров канатных блоков и барабанов ГПМ и отношение диаметров навивки к диаметру каната барабанных одноканатных подъемных машин ШПУ

Regulatory requirements for the ratio of rope diameters and diameters of rope blocks and GPM drums and the ratio of winding diameters to rope diameter of drum single-rope lifting machines SHPU

Механизмы подъема грузоподъемных кранов (кроме стреловых самоходных кранов)			Барабанные одноканатные шахтные подъемные установки (ШПУ)	
Группа классификации механизмов	Минимальные коэффициенты выбора диаметров		Отношение наименьшего диаметра навивки к диаметру каната	
	Барабаны, h_1	Блоки, h_2	Тип	Барабаны, направляющие шкивы
М6	20,0	22,4	Передвижные подъемные машины	50
М7	22,4	25,0	Подземные подъемные машины	60
М8	25,0	28,0	Подъемные установки на поверхности	78

натных барабанных подъемных установок ШПУ) и максимальной величиной коэффициента выбора диаметров ($h_2 = 28,0$ для ГПМ) составляет 2,79 раза. Требуется разработка и обоснование нормативных требований для проектирования опытных образцов НБП.

Как показано выше, горизонтальное перемещение горной массы выполняется по транспортному мосту НБП, расстояние транспортировки 80 – 100 м. Предлагается рассмотреть варианты: транспортировку ленточным конвейером и циклическую схему с рельсовым самоходным вагоном.

Каждая из рассматриваемых схем имеет преимущества и недостатки. При расчетах вариантов механизмов горизонтальной транспортировки предлагается определить максимальную пропускную способность транспортного моста при использовании рельсового подвижного состава при заявлен-

ной грузоподъемности НБП, равной, по вариантам, 6,3 тонны и 4 тонны [2]. Также требуется определить требуемую расчетную производительность и тип ленточного конвейера с учетом возможности обеспечения при конвейерной схеме селективной доставки горной массы.

Для циклических схем с использованием буксируемых вагонеток или самоходных вагонов (тележек) производительность будет определяться пропускной способностью транспортной магистрали – транспортного моста НБП. В данном случае это наибольшее количество самоходных вагонов, которое может быть пропущено по транспортному мосту в единицу времени (расчетный период).

При проектировании разных видов рельсового транспорта используются различные варианты обеспечения требуемой пропускной способности. Проектирование подземного локомотив-

ного транспорта ведется исходя из допускаемого ускорения при трогании состава с места — $0,03 - 0,05 \text{ м/с}^2$ (см. нормы проектирования ВНТП 1 — 92, п. 5.20). Согласно требованиям ГОСТ 8802 — 78, касающихся времени разгона (торможения) трамвайных вагонов, расчетные ускорения при разгоне должны быть не менее $1,0 \text{ м/с}^2$; при экстренном торможении замедление — не менее $2,0 \text{ м/с}^2$, но не более $3,0 \text{ м/с}^2$. Ускорение грейферных тележек мостовых перегружателей должно быть $1,2 - 1,6 \text{ м/с}^2$ (ограничивается допускаемым раскачиванием грейфера) [16].

Для обеспечения пропускной способности отдельных видов рельсового транспорта за счет минимизации времени интервалов при необходимости частых остановок между транспортными единицами важно обеспечить высокие ускорения при отсутствии буксования ходовых колес [16]. К ним относятся: вагоны метрополитена, трамвайные вагоны, грейферные тележки мостовых перегружателей. В данных рельсовых транспортных средствах все колесные пары приводные.

Результаты исследований и их анализ

Схема движения самоходного вагона с транспортным сосудом по транспортному мосту НБП конструктивно близка к схемам передвижения грейферных тележек мостовых перегружателей [16]. При этом при расчетах можно ориентироваться на большие применяемые на практике уровни ускорений (замедлений), например, на нормы для механизмов передвижения трамвайных вагонов, предусматривающих ускорения не менее $1,0 \text{ м/с}^2$ и замедление до 3 м/с^2 . Для расчета пропускной способности транспортного моста НБП рассмотрим движение самоходного вагона с ускорением (замедлением) в диапазоне $1,0 - 2,2 \text{ м/с}^2$.

Аналогично известной двухпериодной диаграмме скоростей вертикальных и горизонтальных перемещений грузовой подвески кабельного крана в течение одного цикла [3], для обеспечения минимальной продолжительности цикла и соответственно максимальной пропускной способности транспортного моста также выбираем двухпериодную диаграмму горизонтального передвижения, при этом формула времени цикла горизонтального перемещения будет следующей:

$$t_{\text{ГЦ}} = t_p + t_3 + t_{\text{ПО}} + t_p + t_3 + t_{\text{ПО}} = 4t_{\text{РЗ}} + 2t_{\text{ПО}}, \quad (1)$$

где $t_p = t_3$ — соответственно время разгона и торможения самоходной вагонетки, замененное на $t_{\text{РЗ}}$ — время разгона торможения; $t_{\text{ПО}}$ — время паузы обмена транспортных сосудов при их передаче с подъемной установки и при их обмене на круговом опрокидывателе.

Исходя из известной формулы пути для движения с ускорением

$$L_{\text{РЗ}} = \frac{at^2}{2}, \quad (2)$$

где a — величина ускорения, м/с^2 ; t — время ускоренного движения, формула времени цикла примет вид:

$$t_{\text{ГЦ}} = 4\sqrt{\frac{2L_{\text{РЗ}}}{a_{\text{РЗ}}}} + 2t_{\text{ПО}} = 4\sqrt{\frac{L}{a}} + 2t_{\text{ПО}}, \quad (3)$$

где $L_{\text{РЗ}} = L/2 = 50 \text{ м}$ — длина участка разгона/торможения, в данном случае равная $1/2$ длины транспортного моста; $t_{\text{ПО}} = 10 \text{ с}$ — принятое расчетное время обмена

транспортных сосудов при челноковой схеме обмена вагонеток (см. ВНТП 1–92, п.6.17.2).

Годовая пропускная способность (количество циклов в год) транспортного моста определяется по формуле

$$N_T = T_{ГФ} / t_{ГЦ} = 3600 T_{РГ} T_{РС} / t_{ГЦ}, \quad (4)$$

где $T_{ГФ}$ — годовой фонд работы карьера; $T_{РГ} = 300$ дней — число рабочих дней

в году; $T_{РС} = 20$ ч — продолжительность работы подъемника в сутки, час.

Произведем расчет времени цикла горизонтального перемещения горной массы и пропускной способности транспортного моста для ускорений замедлений в диапазоне от 1,0 до 2,2 м/с². Данные расчета приведены в табл. 2.

Расчет мощности привода механизма передвижения самоходного

Таблица 2

Результаты расчета времени цикла горизонтального перемещения горной массы и пропускной способности транспортного моста

The results of calculating the cycle time of horizontal movement of the rock mass and the capacity of the transport bridge

Параметр	Значение						
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Ускорение/замедление, a_{p3} , м/с ²	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Время разгона/ торможения, с	10	9,1	8,45	7,9	7,45	7,07	6,74
Максимальная скорость, м/с	10	10,92	11,83	12,64	13,41	14,14	14,83
Время горизонтального цикла $t_{ГЦ}$, с	60	56,5	53,8	51,62	49,81	48,284	46,97
Часовая пропускная способность ТМ*, циклов/ч	60	63,7	66,9	69,7	72,3	75,6	76,6
Часовая производительность ТМ при грузоподъемности ТС 6,3 тс/4 тс, т/ч	<u>378</u> 240	<u>401,3</u> 254,8	<u>421,5</u> 267,6	<u>439,1</u> 278,8	455,5 289,2	<u>476,3</u> 302,4	482,6 306,4
Суточная пропускная способность ТМ, циклов/сут	1200	1274	1338	1395	1445	1491	1533
Суточная производительность ТМ при грузоподъемности ТС 6,3 тс/4 тс, т/сут	<u>7560</u> 4800	<u>8026</u> 5096	<u>8429</u> 5352	<u>8789</u> 5580	<u>9104</u> 5780	<u>9393</u> 5964	9658 6132
Годовая пропускная способность ТМ, циклов/г	360 000	382 300	401 487	418 442	433 648	447 353	459 868
Годовая производительность ТМ при грузоподъемности ТС 6,3 тс/4 тс, млн т/год	<u>2,268</u> 1,44	<u>2,4066</u> 1,528	<u>2,5294</u> 1,606	<u>2,6365</u> 1,6740	<u>2,7320</u> 1,7346	<u>2,8183</u> 1,7894	2,8959 1,8387
Годовая объемная производительность ТМ в целике** при грузоподъемности ТС 6,3 тс/4 тс, тыс.м ³ /год	<u>872,35</u> 553,85	<u>925,62</u> 587,70	<u>997,69</u> 617,69	<u>1014,04</u> 643,85	<u>1059,8</u> 667,15	<u>1083,96</u> 688,23	1113,81 707,19

Примечания: *ТМ — транспортный мост. ** Из расчета объемной массы руды и вмещающих пород 2,6 т/м³.

вагона выполняем по методике расчета механизмов передвижения грейферных тележек [16] для варианта: грузоподъемность 6,3 тс, масса груженого самоходного вагона 10 т и ускорений в диапазоне от 1,0 до 2,2 м/с².

Как следует из данных табл. 2 и 3, изменение ускорения (замедления) от величины 1,0 до 2,2 м/с², т.е. в 2,2 раза, приводит к снижению времени цикла с 60 до 46,97 с, т.е. всего на 27,7%, при этом мощность привода возрастает с 134,7 кВт до 413,1 кВт, т.е. в 3,07 раза. Соответственно увеличивается расход электроэнергии за один цикл передвижения самоходного вагона.

Расчеты проведены исходя из максимальных ускорений (замедлений) реально используемых для подвижного состава рельсового транспорта. Соответственно, указанные параметры пропускной способности и производительности можно считать максимальными для мобильного НБП с циклическими схемами перемещения горной массы.

Наличие указанных данных необходимо для выбора оптимальных параметров НБП в целом.

Как показано выше, для обеспечения максимальной производительности предлагается двухпериодная диаграмма скоростей, без режима установившегося движения. Также из приведенных в табл. 2 и 3 данных: времени цикла, времени работы механизма передвижения в двигательном и генераторном режимах по 6,74–10 с в течение каждого полуцикла (соответствующим времени разгона/торможения), следует, что, в зависимости от величины ускорения, до 95% мощности (энергии) привода расходуется на разгон и, соответственно, выделяется при торможении в генераторном режиме. При этом затраты мощности (энергии) на механические потери — трение в подшипниках, трение реборд колес о рельс и т.д. — сравнительно невелики.

В данном случае, а также и для привода подъемной машины НБП целесообразно использовать время торможения

Таблица 3

Результаты расчётов мощности механизма передвижения самоходного вагона в зависимости от ускорений

Results of calculations of the power of the self-propelled carriage movement mechanism depending on accelerations

Параметр	Значение						
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Ускорение/замедление, $a_{pз}$, м/с ²	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Время разгона/торможения, с	10	9,1	8,45	7,9	7,45	7,07	6,74
Максимальная скорость, м/с	10	10,92	11,83	12,64	13,41	14,14	14,83
Мощность привода груженой вагонетки, кВт	134,7	173,3	216,1	261,17	309,2	342,2	413,1
Мощность привода порожней вагонетки, кВт	53,88	69,3	86,4	104,5	123,7	137,1	165,2
Время работы привода в двигательном/генераторном режиме, с	10	$\frac{2 \times 9,1}{2 \times 9,1}$	$\frac{2 \times 8,45}{2 \times 8,45}$	$\frac{2 \times 7,9}{2 \times 7,9}$	$\frac{2 \times 7,45}{2 \times 7,45}$	$\frac{2 \times 7,07}{2 \times 7,07}$	$\frac{2 \times 6,74}{2 \times 6,74}$
Время цикла $t_{\GammaЦ}$, с,	60	56,4	53,8	51,62	49,81	48,284	46,97

приводами в генераторном режиме для рекуперации и аккумуляции энергии. Для этого предлагается включать в состав оборудования НБП кинетические накопители энергии (КНЭ), которые в периоды торможения будут преобразовывать и накапливать энергию и, соответственно, выдавать ее в электросеть при работе приводов передвижения и подъема в двигательном режиме. Для создания комбинированной системы электропитания НБП предлагается использовать имеющийся мировой опыт создания энергосистем с кинетическими накопителями энергии [17, 18] и отечественные разработки, в частности, по созданию образца КНЭ с магнитным подвесом маховика с запасаемой энергией свыше 5МДж [19].

Для варианта горизонтальной транспортировки горной массы с использованием ленточного конвейера в качестве прототипов целесообразно рассматривать мостовые перегружатели, многие из которых для повышения производительности оснащаются ленточными конвейерами [16]. При этом объемная производительность конвейера должна быть не менее 268,1 м³/ч (исходя из указанной в табл. 3 максимальной производительности 482,6 т/ч и средней насыпной плотности кимберлитовой руды и вмещающих пород 1,8 т/м³).

При наличии требования по обеспечению селективной доставки горной массы по ленточному конвейеру необходимую пропускную способность конвейера предлагается определять по формуле

$$Q_{\text{пс}} = \frac{3600C_{\text{пттк}}Q_{\text{кп}}}{3600 - nT_{\text{пн}}} = \frac{3600C_{\text{пттк}}Q_{\text{кп}}}{3600 - \left(\frac{3600}{t_{\text{гц}}} - 1\right)T_{\text{пн}}} = \frac{3600 \times 1,4 \times 268,1}{3600 - \left(\frac{3600}{47} - 1\right) \times 7} = 440,0 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5)$$

где $C_{\text{пттк}} = 1,4$ — коэффициент неравномерности работы подъемно-транспортного комплекса (ПТК) в целом, принимаемый по нормам проектирования (см. ВНТП 13–2–93, п. 5.1.13); $Q_{\text{кп}} = 268,1$ м³/ч — объемная производительность ленточного конвейера; n — количество перенастроек разгрузочной воронки в час; $T_{\text{пн}} = 7$ с — расчетное время перенастройки разгрузочной воронки с одного бункера на другой (время отсутствия на участке конвейера горной массы).

При этом максимальное количество перенастроек (перенастройка на каждую последующую загрузку) будет определяться по следующей формуле:

$$n_{\text{max}} = \frac{3600}{t_{\text{гц}}} - 1, \quad (6)$$

где $t_{\text{гц}} = 47$ с, минимальное время цикла (см. табл. 3).

Согласно рекомендациям, изложенным в «Пособии по проектированию конвейерного транспорта Ленточные конвейеры (к СНиП 2.05.07–85)/ Промтрансниипркт. — М.: Стройиздат, 1988. — 48 с.» для заданных условий обеспечения селективной доставки горной массы выбираем желобчатый ленточный конвейер с шириной ленты 1000 мм, обеспечивающий при скорости ленты 2 м/с производительность конвейера не менее 500 м³/ч.

Заключение

Наращиваемые башенные подъемники целесообразно рассматривать в качестве основного оборудования для транспортирования горной массы, как для малообъемных кимберлитовых месторождений, так и для доработки подкарьерных

запасов. При этом должна рассматриваться возможность установки на подходе карьера двух или нескольких НБП, в том числе и со скиповым механизмом подъема. Для совместной работы с НБП по безвзрывным технологиям предлагается создать на базе существующих комбайнов, стреловой комбайн с молотковым ротором. Для повышения энергоэффективности приводов подъема и горизонтального перемещения НБП целесообразно включать в их состав кинетические накопители энергии. При использовании в каче-

стве горизонтального транспорта горной массы ленточного конвейера, установленного на транспортном мосте НБП возможна селективная доставка горной массы без снижения производительности НБП. При этом наиболее целесообразно их сочетание со скиповыми НБП. Существующий уровень автоматизации и роботизации горного оборудования обеспечивает возможность использования кабельных кранов при разработке кимберлитовых месторождений с использованием безлюдных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зельберг А. С., Зырянов В. В., Бондаренко И. Ф.* Современные и перспективные технологии при разработке месторождений алмазов // Горная промышленность. — 2019. — №3 (145). — С. 26 — 31. DOI.ORG/10/30686/1609—9192—2019—3—145—26—31.
2. *Точилин В. И.* Нарастиваемые башенные подъемники для разработки кимберлитовых трубок (исходные горно-технологические требования к конструкции) // Горное оборудование и электромеханика. — 2005. — №3. — С. 34—37.
3. *Точилин В. И.* Выбор подъёмно-транспортного оборудования для разработки малых кимберлитовых трубок // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. материалов 7-й Международной науч.-техн. конф. Ч. 1. / Под общ. ред. В. Е. Кислякова. — Красноярск: ИПК СФУ, 2009. — С. 334—344.
4. *Акшиев А. Н., Бондаренко И. Ф., Зырянов И. В.* Технологические аспекты разработки беднотоварных месторождений алмазов. — Новосибирск: Наука, 2018. — 368 с.
5. *Чебан А. Ю.* Технология доработки месторождений кимберлитов с применением канатной системы подъема горной массы // Науки о Земле и недропользование. — 2019. — Т.42. — №4 (69). — С. 495—501. DOI. ORG/10.21285/2686—9993—2019—42—4—495—501.
6. *Яковлев В. Л., Зырянов И. В., Журавлев А. Г., Черепанов В. А.* Особенности современного подхода к выбору технологического транспорта для алмазорудных карьеров Якутии // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — №6. — С.109—119.
7. *Точилин В. И.* Отработка подкарьерных запасов трубки «Интернациональная» с использованием аэрогеотехнологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 1999. — №5. — С. 197—200.
8. Mind over matter World Mining Frontiers. Volume 2 2019 [Электронный ресурс]. <https://secure.viewer.zmags.com/publication/201e21a7#/201e21a7/52> (обращение 21.02.2022).
9. *Mi Li Yang, Junqi Zhu and Jichao Geng* Mining Employees Safety and the Application of Information Technology in Coal // Department of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan, China [Электронный ресурс]. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2021.709987/full> (обращение 21.02.2022).
10. *Palka D., Stecula K.* Concept of technology assessment in coal mining // Mining of Sustainable Development IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019, vol. 261. 012038 doi:10.1088/1755—1315/261/1/012038 [Электронный ресурс]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/261/1/012038/pdf> (обращение 32.02.2022).

11. Трубецкой К. Н., Рыльникова М. В., Владимиров Д. Я. От системы «Карьер» к новому интеллектуальному укладу открытых горных работ // Проблемы недропользования. – 2019. – №3 (22). – С. 39–48. DOI 10.25635/2313–1586–2019–03–039.
12. Владимиров Д. Я., Клебанов А. Ф., Кузнецов И. В. Цифровая трансформация открытых горных работ и новое поколение карьерной техники // Горная промышленность. – 2020. – № 6. – С.10–12. DOI 10.30686/1609–9192–2020–6–10–12.
13. Зырянов И. В., Акишев А. Н., Бондаренко И. Ф. и др. Совершенствование добычи и переработки алмазосодержащих руд: Монография. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2020. – 720 с.
14. Левенсон С. Я., Ланцевич М. А., Гендлина Л. И., Акишев А. Н. Новая технология и оборудование для безвзрывного формирования рабочей зоны глубоких карьеров // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2016. – №5. – С. 125–132.
15. Чебан А. Ю. Повышение эффективности отработки высоких уступов карьеров с применением фрезерных машин // Маркшейдерия и недропользование. –2020. – №1 (105). – С.10–12.
16. Беглов Б. В., Кох П. И., Онищенко В. И., Окулов Д. П., Эбич Р. Д., Зискус А. Я. Мостовые перегружатели. – М.: Машиностроение, 1974. – 224 с.
17. Amber Kinetics. Stout M. Hawaiian Electric and Amber Kinetics Begin Kinetic Energy Storage Demonstration with Support from Elemental Excelerator. News, Press Releases. Mar 12, 2018 [Электрон. ресурс]. <http://amberkinetics.com/hawaiian-electric-and-amber-kinetics-begin-flywheel-energy-storage-demonstration-with-support-from-elemental-excelerener/> (дата обращения 21.02.2022).
18. Prof. Dr.-Ing. Keller Günter Flywheel Energy Storage Deggendorf Institute of Technology Faculty of Electrical Engineering, Media Technology and Computer Science M.Sc. Electrical Engineering and Information Technology Article · March 2019 [Электрон. ресурс]. <https://www.researchgate.net/publication/332061263> (дата обращения 21.02.2022).
19. Казанцев С. Г. Кинематические накопители: мировые тренды и отечественные разработки с применением ВТСП-лент второго поколения // Вопросы электромеханики. Труды ВИИЭМ. – 2016. – Т.155. – С. 3–21. **ИТАЭ**

REFERENCES

1. Zelberg A. S., Zyryanov V. V., Bondarenko I. F. Modern and promising technologies in the development of diamond deposits. *Mining industry*. 2019, no. 3 (145), pp. 26–31. DOI. ORG/10/30686/1609–9192–2019–3–145–26–31. [In Russ]
2. Tochilin V. I. Increasing tower lifts for the development of kimberlite pipes (initial mining and technological requirements for construction). *Mining equipment and electromechanics*. 2005, no. 3, pp. 34–37. [In Russ]
3. Tochilin V. I. Selection of lifting and transport equipment for the development of small kimberlite pipes. *Modern technologies for the development of mineral resources: sb. materials 7-i Mezhdunarodnaya nauch.-techn. konf.* Ed. V. E. Kislyakov. Krasnoyarsk, IPK SFU, 2009, ch. 1, pp. 334–344. [In Russ]
4. Akishev A. N., Bondarenko I. F., Zyryanov I. V. Technological aspects of the development of poor-commodity diamond deposits. Novosibirsk, Nauka, 2018, 368 p. [In Russ]
5. Cheban A. Y. Technology of refinement of kimberlitov deposits with the use of a rope system for lifting the mountain mass. *Sciences about the Earth and Subsoil Use*. 2019, vol. 42, no. 4 (69), pp. 495–501. DOI. ORG/10.21285/2686–9993–2019–42–4–495–501. [In Russ]
6. Yakovlev V. L., Zyryanov I. V., Zhuravlev A. G., Cherepanov V. A. Features of a modern approach to the choice of technological transport for diamond-ore quarries of Yakutia. *Physical and technical problems of development of minerals*. 2018, no. 6, pp. 109–119. [In Russ]
7. Tochilin V. I. Working out the under-generational reserves of the tube «Internatsionalnaya» with the use of aerogeotechnology. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 1999, no. 5, pp. 197–200. [In Russ]

8. Mind over matter World Mining Frontiers Volume 2 2019 [Electronic resource]. <https://secure.viewer.zmags.com/publication/201e21a7#/201e21a7/32> (appeal 21.02.2022).
9. Mi Li Yang, Junqi Zhu and Jichao Geng. Mining Employees Safety and the Application of Information Technology in Coal. Department of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan, China [Electronic resource]. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2021.709987/full> (accessed 21.02.2022).
10. Palka D., Stecula K. Concept of technology assessment in coal mining. *Mining of Sustainable Development IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Scienc.* 2019, vol.261. 012038 e doi:10.1088/1755–1315/261/1/012038 [Electronic resource]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/261/1/012038/pdf> (appeal 32.02.2022).
11. Trubetskoy K. N., Rylnikova M. V., Vlad IOP Publishing iirov D.Ya. From the system «Career» to the new intellectual way of life of open mining. *Problems of subsoil use.* 2019, no. 3 (22), pp. 39–48. DOI 10.25635/2313–1586–2019–03–039. [In Russ]
12. Vladimirov D. Ya., Klebanov A. F., Kuznetsov I. V. Digital transformation of open mining works and the new generation of quarry technology. *Mining industry.* 2020, no. 6, pp. 10–12. DOI 10.30686/1609–9192–2020–6–10–12. [In Russ]
13. Zyryanov I. V., Akishev A. N., Bondarenko I. F. et al. Improvement of mining and processing of diamond-containing ores. Monograph. Yakutsk: Publishing House NEFU, 2020, 720 p. [In Russ]
14. Levenson S. Ya., Lantsevich M. A., Gendlina L. I., Akishev A. N. New technology and equipment for non-explosive formation of the working zone of deep quarries. *Physical and technical problems of mining minerals.* 2016, no. 5, pp. 125–132. [In Russ]
15. Cheban A. Y. Improving the efficiency of working out high yields of quarry with the use of milling machines. *Surveying and subsoil use.* 2020, no. 1 (105), pp. 10–12. [In Russ]
16. Beglov B. V., Kokh P. I., Onishchenko V. I., Okulov D. P., Ebich R. D., Ziskis A. Y. Most overloaders. Moscow, Mashinostroenie, 1974, 224 p. [In Russ]
17. Amber Kinetics. Stout M. Hawaiian Electric and Amber Kinetics Begin Kinetic Energy Storage Demonstration with Support from Elemental Excelerator. News, Press Releases. Mar 12, 2018 [electron. resource]. <http://amberkinetics.com/hawaiian-electric-and-amber-kinetics-begin-flywheel-energy-storage-demonstration-with-support-from-elemental-excelerener/> (accessed 21.02.2022).
18. Prof. Dr.-Ing. Keller Günter Flywheel Energy Storage System Deggendorf Institute of Technology Faculty of Electrical Engineering, Media Technology and Computer Science M.Sc. Electrical Engineering and Information Technology Article · March 2019 [electron. resource]. <https://www.researchgate.net/publication/532061263> (accessed 2022–02–21).
19. Kazantsev S. G. Kinematic accumulators: world trends and domestic developments with the use of VTSP-tapes of three peniles. *Voprosy elektromekhaniki. Trudy VIEM.* 2016, vol. 155, pp. 3–21. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Точили́н Влади́мир Ива́нович — инженер-механик по подъемно транспортным машинам и оборудованию, заместитель главного конструктора, АО «Спецтехномаш», 660050, Россия, г. Красноярск, ул. Кутузова, 1, а/я 1020, tv-stm@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tochilin V.I., mechanical engineer for lifting transport machines and equipment, Deputy Chief Designer, JSC “Spetstechnomash”, 660050, Russia, Krasnoyarsk, Kutuzov Street, 1, PO Box 1020, tv-stm@yandex.ru.

Получена редакцией 29.09.2021; получена после рецензии 10.03.2022; принята к печати 10.04.2022.
Received by the editors 29.09.2021; received after the review 10.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.