

УДК 622.68:621.86.032

Чендырев Михаил Андреевич
младший научный сотрудник,
лаборатория транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: Chendyrev@igduran.ru

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАКЛОННЫХ КАРЬЕРНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ*

Аннотация:

В данной статье представлен обзор и особенности конструкций карьерных подъемных установок, как существовавших на карьерах России и зарубежья, так и перспективных разработок. Систематизированы технологические параметры, сделаны выводы о возможных перспективах и возможных конструктивных и технологических ограничениях их применения. Проанализированы конструктивные решения, нацеленные на возможность расширения области применения. Приведен график зависимости годовой производительности от максимальной скорости движения платформы и высоты подъема, что позволило сделать вывод о целесообразности повышения скорости. Приведены графики зависимости металлоемкости автомобильных и скиповых наклонных карьерных подъемных установок от грузоподъемности автосамосвалов и высоты подъема, позволяющие определить рациональную глубину использования.

Ключевые слова: карьерная автомобильная наклонная подъемная установка, специальные виды транспорта, доработка карьеров, канатный подъем, подъемные машины, карьерный автосамосвал.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.037

Chendyrev Mikhail A.
Junior Researcher,
Laboratory of Open Pit Transport Systems
and Geotechnics,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: Chendyrev@igduran.ru

EVALUATION OF TECHNOLOGY AND CONDITIONS OF SLOPE IN-CAREER HOISTING INSTALLATION

Abstract:

This article provides an overview and design features of quarry hoisting installations, both existing in the quarries of Russia and abroad, and promising developments. The technological parameters are systematized, conclusions are drawn about the possible prospects and possible structural and technological limitations of their application. Structural solutions aimed at the possibility of expanding the scope of application are analyzed. We give the diagram of dependence of annual productivity on the maximum of the platform speed and of the lifting height, which allows us to conclude that it is advisable to increase the speed. We give the dependence diagram of the metal consumption of automobile and skip slope quarry hoisting installations on the loading capacity of dump trucks and the lifting height, which allows us to determine the rational depth of use.

Keywords: open-pit mining car lift, special types of transport, completion of quarries, rope hoisting, lifting machines, quarry dump truck

Введение

При добыче полезных ископаемых одним из наиболее затратных факторов является карьерный транспорт, затраты на него могут достигать до 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 необходимостью размещать на бортах карьера большое количество транспортных берм, что вызывает дополнительный их разнос. Одним из решений этой проблемы могут служить наклонные карьерные подъемные установки, которые размещаются перпендикулярно борту карьера и имеют кратчайшее расстояние транспортирования.

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания, тема № 0405-2019-0005

Наряду с подъемниками конвейерного типа могут применяться подъемники, использующие канатный привод в сочетании с сосудами большой грузоподъемности, которые в целом можно назвать наклонными карьерными подъемными установками (НКП). Они могут быть двух типов: скиповыми (горная масса поднимается открытыми сосудами – скипами) и автомобильными (на специальной платформе транспортируется карьерный самосвал, груженный горной массой). Преимущество НКП заключается в отсутствии необходимости дробления руды в карьере, а в случае автомобильного подъема – отсутствии двойной перегрузки и переподъема горной массы.

Как правило, подъемная установка состоит из траншеи, проложенной в борту карьера по кратчайшему расстоянию, двух подъемных сосудов (платформ) или подъемного сосуда (платформы) с противовесом, связанных через канаты, подъемных машин со шкивами трения, расположенных в верхней части и осуществляющих привод установки.

Несмотря на имеющийся опыт применения НКП, на сегодняшний день они не получили широкого распространения в связи с ограниченной производительностью и большими капитальными затратами. Современные технологии позволяют создавать более производительные подъемники, что открывает определенные перспективы для их применения. Однако отсутствие системных исследований в этом направлении в последние десятилетия требует научно-методической проработки современной технологии применения НКП.

Для определения перспективных параметров наклонных карьерных подъемников выполнен анализ опыта их применения и инновационных разработок в этом направлении.

Результаты исследования

Одним из первых задокументированных опытов применения наклонного подъема является подъемник на Саксаганском руднике в конце XIX века [1]. Подъем горной массы осуществлялся по наклонной трассе, проходящей частично по борту карьера. Горная масса транспортировалась в вагонетках, устанавливаемых на подъемной платформе. Привод шкивов осуществлялся от паровых машин. Вывоз горной массы от забоев до подъемника осуществлялся гужевыми повозками либо вагонетками вручную.

Позднее скиповой подъем нашел применение на ряде карьеров в США в 1920 – 1940-х гг. Их эффективность была оправдана снижением затрат и повышением производительности предприятия в условиях относительно низкой производительности автосамосвалов, имевших малую грузоподъемность и невысокую скорость при движении по наклонным транспортным бермам.

Одним из относительно современных примеров применения подъемника для добычи полезных ископаемых был Сибайский карьер, который является первым и единственным в СССР примером использования такой технологии [2]. Подъемник был установлен в карьер в 1965 – 1968 гг. при смене транспортной схемы с применением железнодорожного транспорта на автомобильно-скиповой. Он имел систему из двух скипов грузоподъемностью 40 т, соединенных канатами через систему шкивов. Высота подъема составляла 372 м, угол наклона траншеи 39°. Загрузка скипов осуществлялась непосредственно из автосамосвалов без дробления. Разгрузка горной массы осуществлялась в бункер с затвором, из которого, в свою очередь, загружался магистральный транспорт, доставлявший руду на обоганительную фабрику. Трасса подъемника была расположена в траншее, проведенной перпендикулярно бровкам уступа на борту карьера, а движение скипов осуществлялось по рельсовым путям. Подъемник проработал на протяжении 25 лет.

Другим реализованным примером является подъемник, использовавшийся при строительстве плотины Токуям в Японии (рис. 1). Спуск строительной техники к под-

ножью плотины был сильно осложнен ландшафтом, и для спуска строительной техники использовался подземный тоннель и одноконцевая наклонная подъемная установка с грузовой платформой. Для движения платформы была построена трасса из металлоконструкций. Из-за ограничения размеров верхнего загрузочного пункта барабанная подъемная машина, используемая для приведения установки в движение, была установлена на нижней площадке, и канаты через систему блоков в верхней части пути крепились к платформе. Ориентировочная грузоподъемность установки – 40 т, высота подъема порядка 80 – 90 м. После строительства плотины металлоконструкции установки были демонтированы.

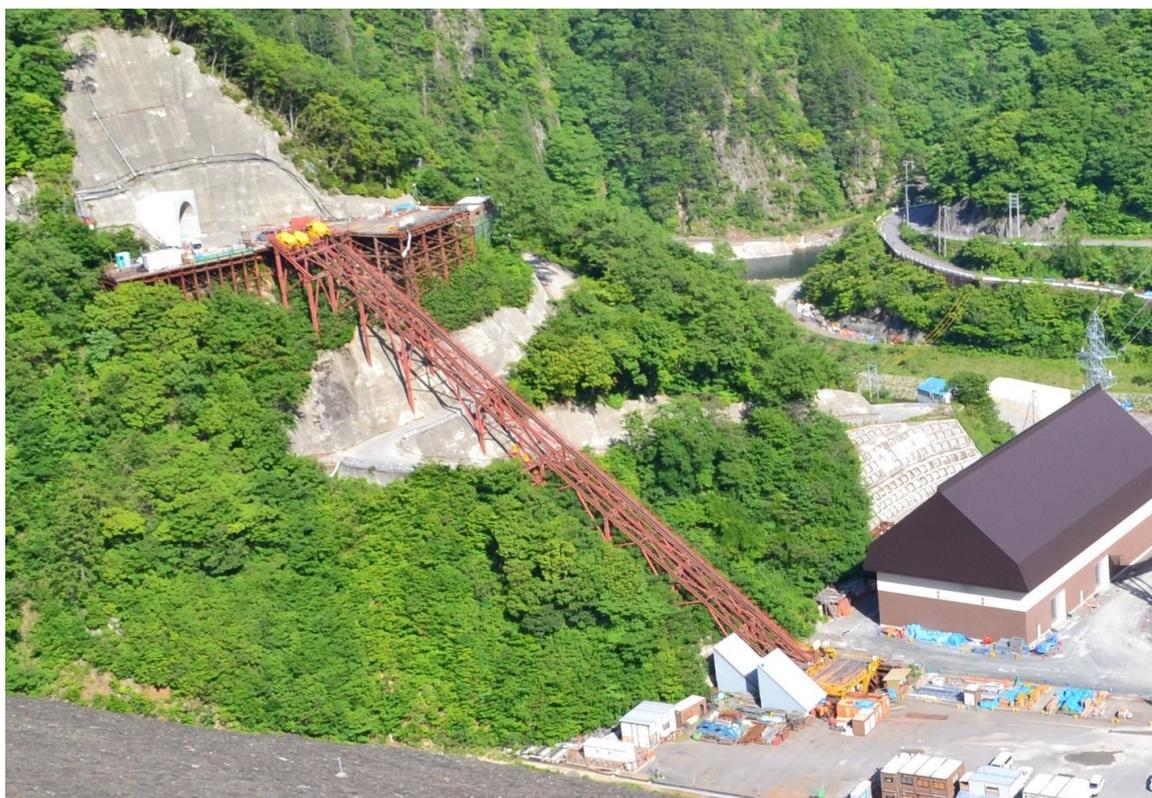


Рис. 1 – Строительство плотины Токуям

Указанные выше примеры применения подъемников вряд ли могут быть использованы в современных условиях при добыче полезных ископаемых ввиду их малой грузоподъемности и годовой производительности установки. Для небольших карьеров они будут характеризоваться чрезмерно высокими капитальными затратами, а для крупных карьеров – слишком малой производительностью. На сегодня НКП для эффективного применения должны обеспечивать следующие преимущества: снижение затрат на сборочный и магистральный транспорт, иметь приемлемую производительность (8 - 15 млн т/год и выше), характеризоваться ограниченными капитальными затратами и сроками возведения, а также обеспечивать эколого-гигиенические преимущества (снижение выбросов отработавших газов автотранспортом). Поэтому необходим анализ имеющихся теоретических разработок по конструкции подъемников. Ниже приведены некоторые из них.

Схема подъемной установки, предложенная в диссертации Е.Л. Садыкова [3], отличается тем, что помимо подъемной машины со шкивом трения в верхней части установки используется дополнительная приводная станция, состоящая из двух барабанных машин, жестко соединенных между собой в нижней части, позволяющая улучшить уравнивание и распределить нагрузку на канатах, снизить вероятность проскальзывания (рис. 2).

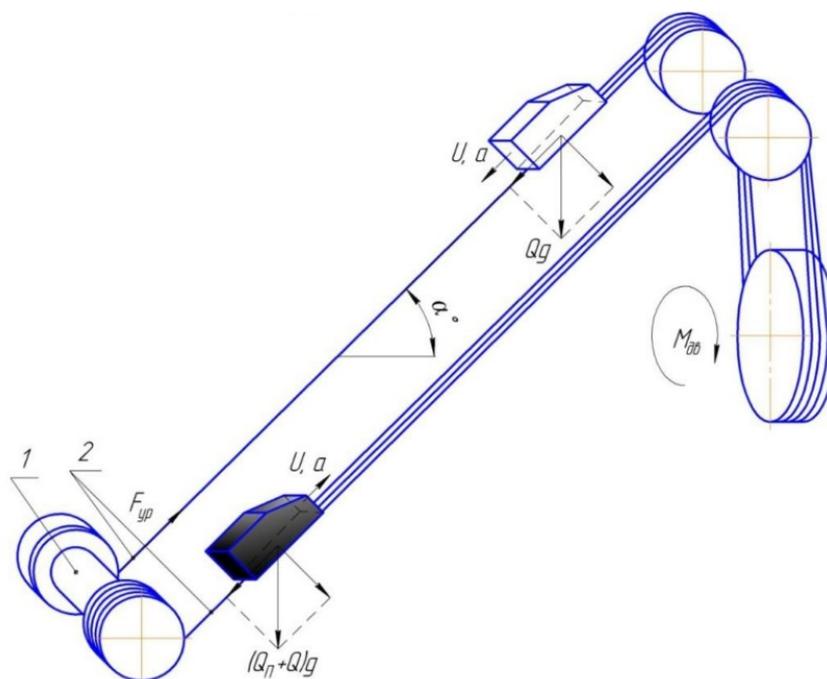


Рис. 2 – Модель уравновешенной многоканатной карьерной подъемной установки с дополнительной приводной станцией (расшифровка нумерации в [3])

Концепция подъемной установки, предложенная А.А. Кулешовым, Ю.Д. Тарасовым [4], отличается тем, что подъемник приводится в движение от колес автосамосвала через ролики в платформе и систему полиспаств, что позволяет уменьшить габариты и сократить металлоемкость за счет отсутствия здания подъемных машин. Стоит отметить, что скорость подъема будет ограничена мощностью силовой установки самосвала, трением в системе и сцеплением между колесами самосвала (13) и роликами (12) (рис. 3) и будет составлять не более 1 – 1,5 м/с.

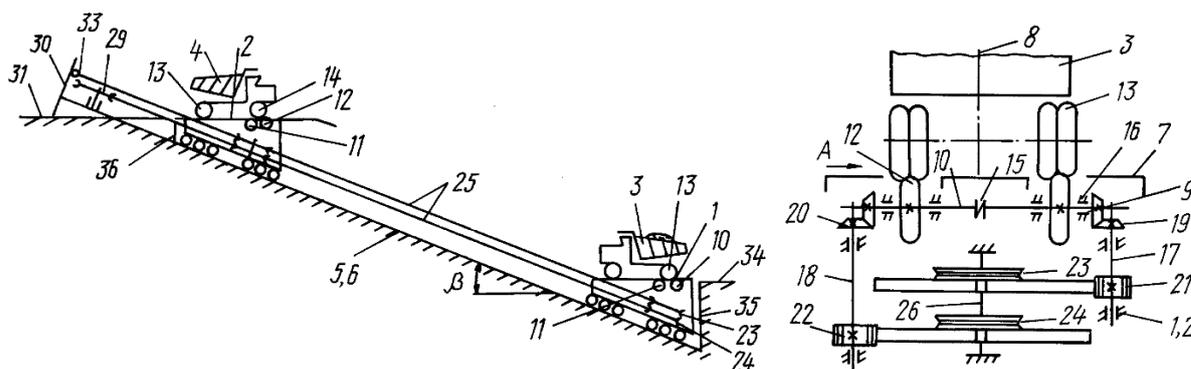


Рис. 3 – Модель подъемной установки с автономным приводом (расшифровка нумерации в [4])

Модель подъемной установки, предложенная в публикациях [5, 6], отличается тем, что для лучшего уравновешивания автосамосвала или думпкара, размещаемого на платформе, в противовесе установлены баки, которые заполняются водой (рис. 4). Преимуществом данной установки является полное контролируемое уравновешивание платформы. Однако применение такой конструкции для доставки руды, вероятно, будет нерациональным, поскольку перекачка воды из нижней части установки к находящемуся вверх противовесу при компенсируемых массах 90 – 240 т является затратной операцией.

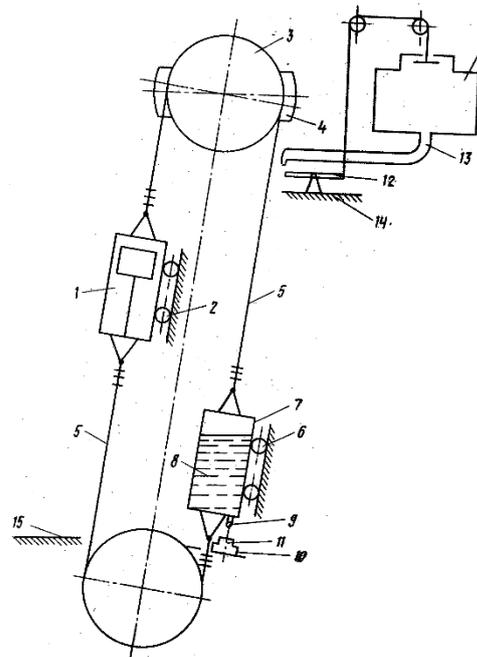


Рис. 4 – Механико-гидравлический фрикционный подъемник
(расшифровка нумерации в [6])

Модель подъемной установки [7] может использоваться для перемещения тяжелых сосудов (скипов). Увеличение тягового усилия осуществляется за счет системы полиспаств. Ограничением для применения этой схемы является большая длина каната, а также необходимость развития большой скорости на шкивах трения из-за многократного понижения скорости на подвижных блоках, расположенных у скипов (рис. 5). Расчеты показывают, что для обеспечения приемлемой производительности подъемника скорость движения скипов должна быть 10 – 15 м/с, следовательно, для рассматриваемой кинематической схемы скорость на шкивах трения подъемной установки должна быть порядка 100 – 200 м/с. Укрупненный расчет показал, что скорость движения скипа для такой системы не будет превышать 5 м/с.

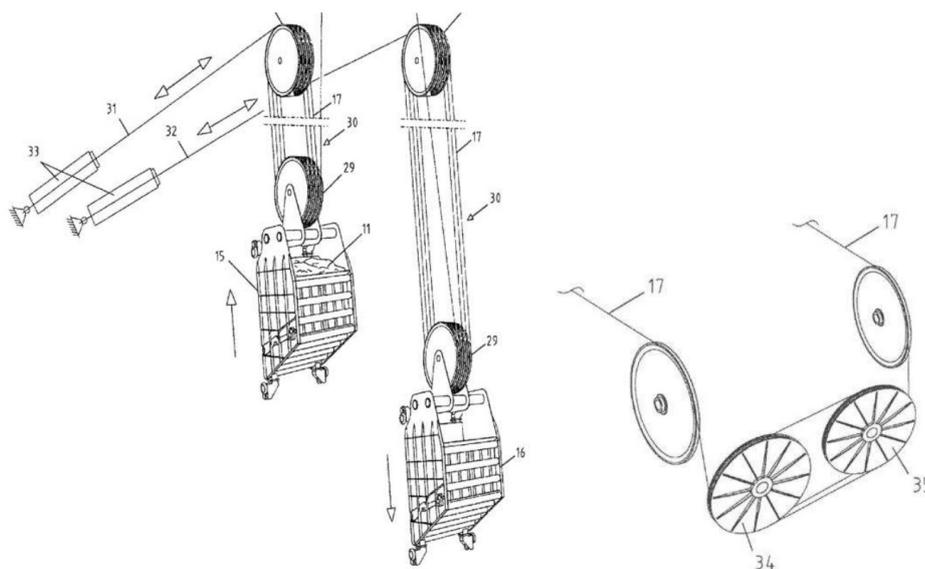


Рис. 5 – Крутонаклонная подъемная установка
для открытой горной выработки
(расшифровка нумерации в [7])

Интересные результаты исследований приводятся в статье [8]. Представлена схема автомобильно-клетьевого подъемника (челночного типа) и план вскрытия рабочих горизонтов карьера «Юбилейный» (рис. 6). Особенности конструкции следующие: возможно использовать схему вскрытия без полноразмерных автотранспортных берм в верхней части карьера, где функционирует подъемник, на бортах карьера формируются только технические съезды. В траншее подъемника проложены рельсовые пути для спуска людей в фуникулере. Предусматривается размещение и перемещение автосамосвалов грузоподъемностью 120 т на специальных платформах, углы наклона траншей 35 и 40°, высота подъема 170 и 185 м, годовая производительность подъемников 10 млн т/год.

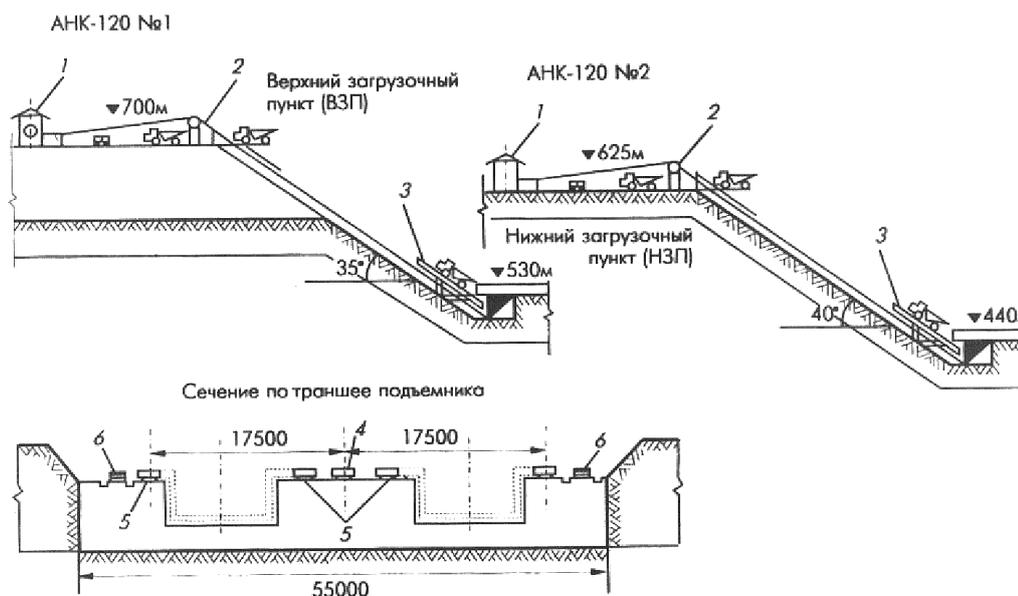


Рис. 6 – Автомобильно-клетевой подъемник АНК-120 (расшифровка нумерации в [8])

Конструктивное решение подъемника, приведенное в [9], нацелено на минимизацию подготовки борта карьера под движение платформ без проходки капитальной траншеи (рис. 7). Отличие заключается в том, что колеса платформы и рельсовые пути расположены таким образом, чтобы при движении платформы и переходе с горизонтального на наклонное направление платформа оставалась горизонтальной за счет двухуровневого размещения рельсовых путей. Однако это создает большие динамические нагрузки при смене вектора движения и сильно ограничивает скорость передвижения платформы.

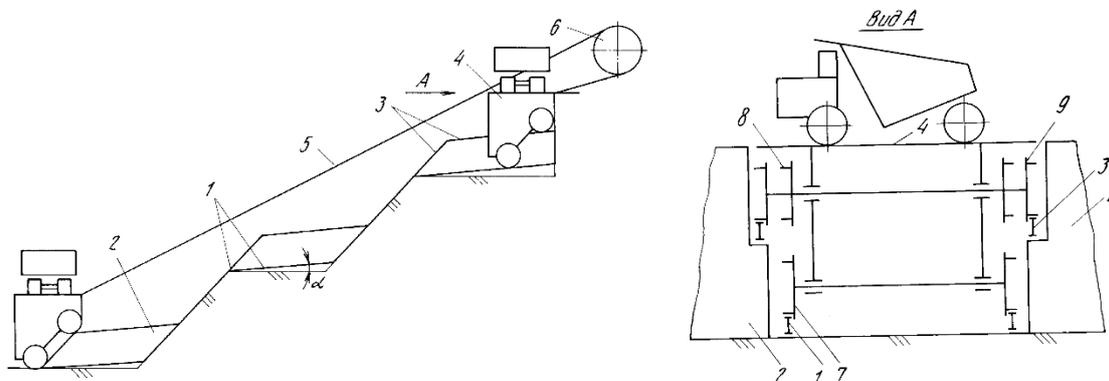


Рис. 7 – Устройство для транспортирования грузов (расшифровка нумерации в [9])

Модель подъемной установки, предложенная в публикации [10], отличается использованием с цепного привода грузоподъемностью 200 т (рис. 8), что позволяет исключить проблему проскальзывания канатов, однако при этом ограничивает скорость подъема (1,6 м/с) и его производительность. Расчетная производительность подъемника составляет 2 млн т/год, что является достаточно малой величиной.



Рис. 8 – Модель подъемной установки с цепным приводом [10]

Система «SkipWaySystem» [11] аналогична наклонной грузовой подвесной канатной дороге. Особенностью является наличие единого тягового каната для поднимаемого и спускаемого скипов, что позволяет решать вопросы уравнивания, а также челночный характер движения скипов (рис. 9). Скипы имеют донную разгрузку. Преимуществом служит отсутствие необходимости подготовки борта карьера к использованию системы, возможность разнести загрузочные станции в разные точки карьера (при этом длина наклонной трассы подъема у каждой ветви подъемника должна быть одинаковой). Ограничением применения такой конструкции является грузоподъемность до 200 т.

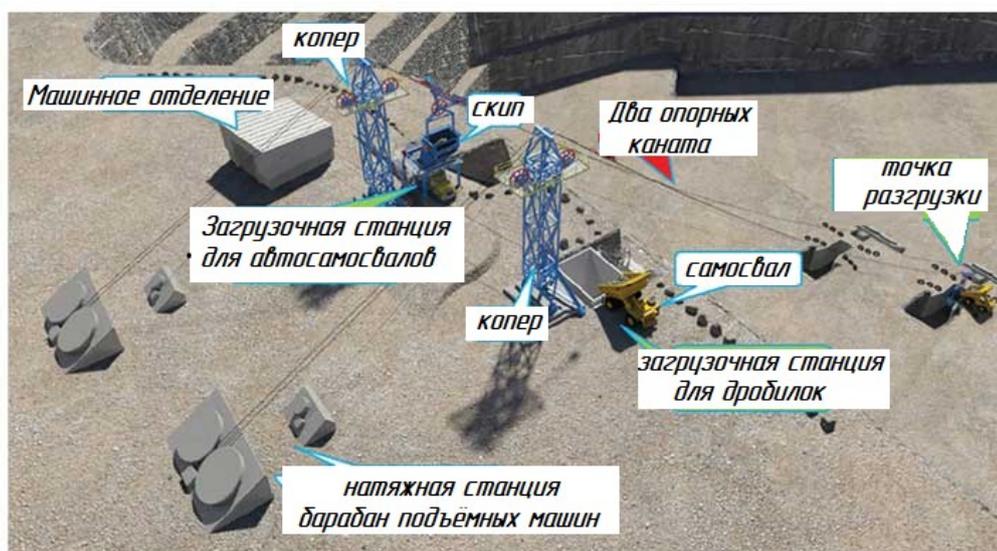


Рис. 9 – Системаскиповогоподъема «Thyssenkrupp's Skip Way System» [11]

Система SiemagTecbergtrucklift [12] представляет собой одноконцевой подъемник с противовесом. В верхней части траншеи размещена подъемная машина со шкивом трения и отклоняющим шкивом (рис. 10). Для размещения самосвала используется платформа грузоподъемностью до 500 т (соответствует груженому самосвалу грузоподъемностью до 290 т). Противовес связан с платформой через канаты, проходящие через шкивы, и движется по нижней части траншеи, и при движении установки он проходит под платформой. Самосвал располагается на платформе параллельно бровке борта карьера.

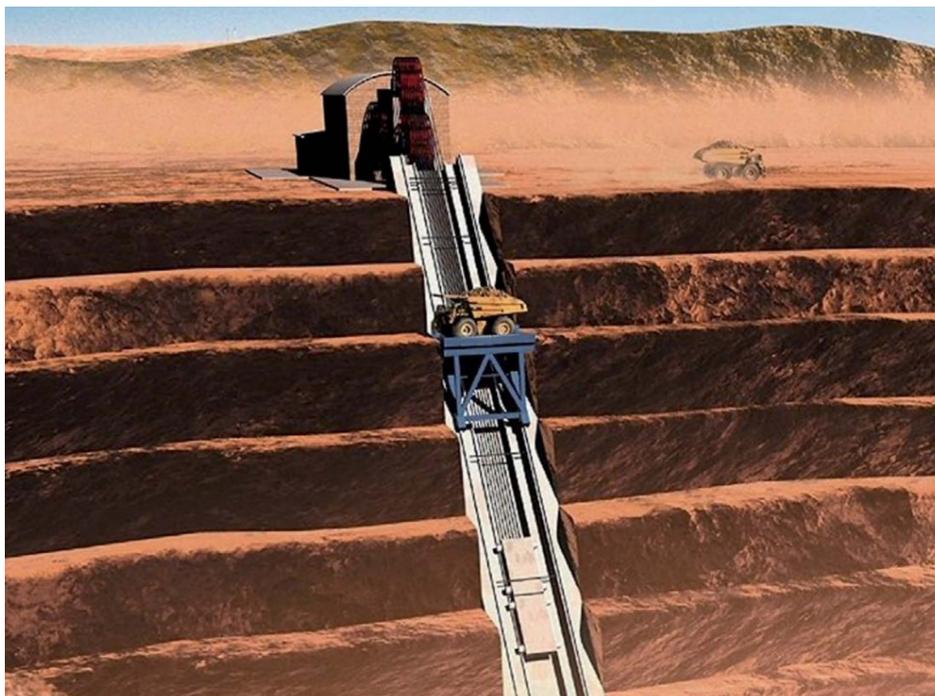


Рис. 10 – Автомобильный наклонный карьерный подъемник «SiemagTecbergtrucklift» [12]

Таким образом, основные особенности реализованных и предложенных перспективных наклонных карьерных установок следующие:

- Большая масса канатов приводит к дисбалансу ветвей канатов, причем с увеличением глубины дисбаланс усиливается за счет перехода массы тяговой ветви на сторону платформы с загруженным автосамосвалом/скипом, что может привести к проскальзыванию канатов по шкиву трения, поэтому большинство конструкций нацелены на сокращение разницы между массами порожней и груженой ветви и лучшего уравновешивания скипов/платформ.

- Использование системы полиспаств в [4] и [7] позволяет распределить нагрузку на канаты за счет дублирования одного каната, но при этом существенно сокращается скорость движения платформы, так как скорость движения каната у приводного шкива в несколько раз превосходит скорость движения платформы, что может привести к его сходу с приводного шкива.

- Чаще всего для наклонного подъема используются подъемные машины со шкивами трения, которые позволяют использовать большое количество (до 8 шт.) канатов, так как увеличение грузоподъемности установок может происходить только за счет увеличения количества канатов, а не их диаметра.

- Существенная часть капитальных затрат связана с проходкой траншеи, и установки [9] и [11] нацелены на сокращение этих затрат.

Сводный анализ параметров рассмотренных подъемников (табл. 1) показал, что параметры перспективных подъемников могут рассматриваться в следующих диапазонах:

- Высота подъема от 100 до 500 м. Максимальная высота подъема принята равной 500 м, так как при большей высоте подъема необходимо увеличить кратность запаса прочности канатов.

- Скорость подъема от 5 до 15 м/с.

- Производительность от 5 до 25 млн т/год (максимальная производительность достигается при минимальной высоте подъема).

- Углы наклона от 30 до 70°.

- Грузоподъемность скипа от 30 до 500 т, автосамосвала при автомобильном подъеме – от 30 до 300 т

Таблица 1

Характеристики наклонных карьерных подъемных установок

Авторские конструкции и конструкции на различных предприятиях мира	Технические параметры						
	Тип	Высота подъема, м	Производительность, млн т/год	Высота подъема сборочного транспорта, м	Углы наклона	Грузоподъемность скипа/ автосамосвала, т	Скорость, м/с
Дисс. Кидяев В.А.[13]	Скип	330	2,4-11,4		41-45	27	-
Дисс. Томилина Н.Г.[14]	Скип в карьере	200-400	1-6	350		27-200	4-10
Дисс. Ланков П.Ю. [3]	Скиповой	200-600	-	-	40-60		-
	Авто	200-600	-	-	40-60		-
Механико-гидравлический фрикционный подъемник [6]	Авто	-	10-16,75	-	30	180	-
АНК-120 [8]	Авто	107-185	10	-	35-40	120	-
Подъемник с цепным приводом [10]	Авто	-	3,4	-	-	130	0,5
Thyssenkrupp's Skip Way System [11]	Скип	410	6-30	От 0	25-75	45	6-12
SiemagTecbergtrucklift [12]	Авто	100	15	200	25-55	300	8
Карьеры, на которых эксплуатировались карьерные скиповые наклонные установки [15]							
Сибайский (Россия 1972)	Скип	372	7,3	-	35-45	40	7
Чино (США, 1960)	Скип	210	2,24	90	28	40	8
Мармора (США)	Скип	80	1,505	72	45	22	8
Либерти (США, 1959)	Скип	127	24,5	173	19	22	8,3
Невада (США)	Скип	137	1,96	63	20	20	6,9
Мортон (США)	Скип	92	3,5	98	25, 36	20	3,05
Колвези (Конго)	Скип	100	7	100	35	20	8,25
Джеффри-Майн (Канада)	Скип	90	17,5	150	45	40	7
Маркуэсандо (Испания)	Скип	90	0,525	60	45	15	5

Для определения достижимых и рациональных параметров НКП выполнены предварительные расчеты. Внешний вид, размещение подъемника в карьере (вариант автомобильного подъемника) приведены на рис. 11.

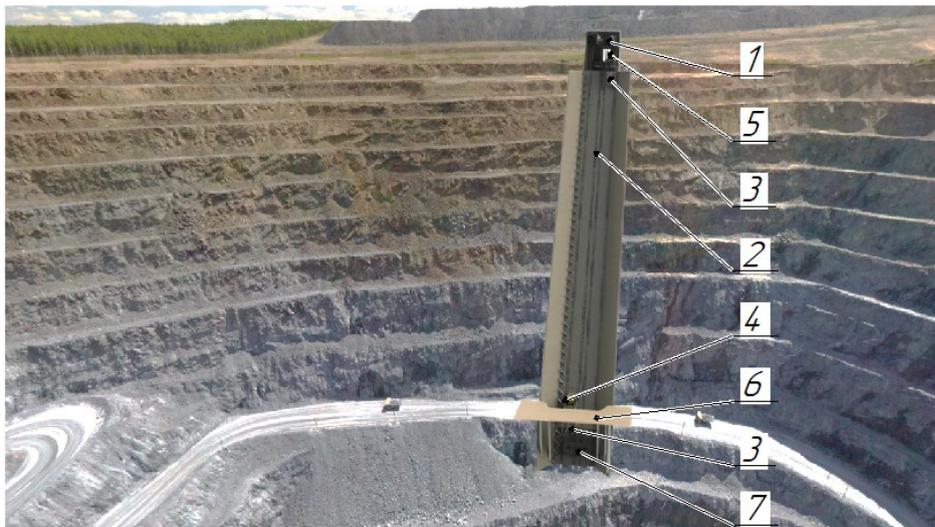


Рис. 11 – Пример размещения АНКП в карьере:
1 – здание подъемных машин; 2 – наклонный рельсовый путь;
3 – платформа для установки самосвала; 4 – порожний самосвал;
5 – груженный самосвал; 6 – нижний разгрузочный пункт;
7 – натяжное устройство хвостовых канатов

Для обоснования скорости подъема были проанализированы нормативные требования и мировой опыт.

Согласно постановлению Ростехнадзора [16] об утверждении правил безопасности в угольных шахтах максимальная скорость подъема в наклонных выработках скипами ограничена 7 м/с, вагонетками – 5 м/с.

Согласно [17] максимальная скорость подъема и спуска людей по вертикальным выработкам не должна превышать 12 м/с, а по наклонным выработкам – 5 м/с, скорость при подъеме и спуске грузов по вертикальным и наклонным выработкам должна определяться проектом.

В мировой практике применения скиповых карьерных подъемников чаще всего использовалась скорость движения порядка 8 м/с и грузоподъемность 20 – 40 т, соответствующая грузоподъемности автосамосвалов тех времен.

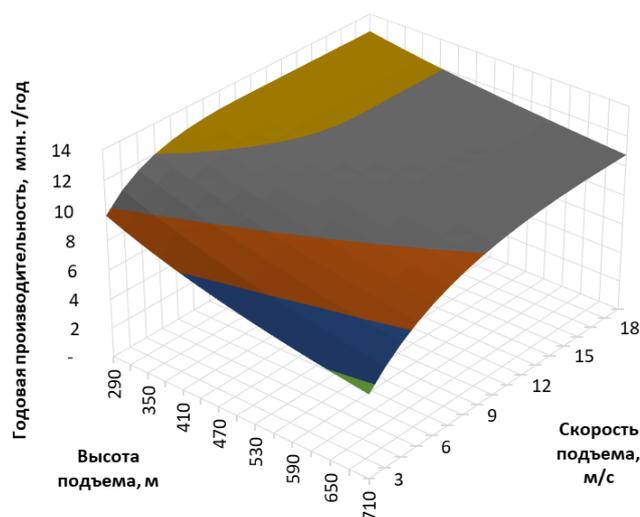


Рис. 12 – График зависимости производительности от высоты и скорости подъема

Годовая производительность посчитана исходя из количества циклов действия АНКП в год [18]. Годовой фонд времени работы составляет 305 рабочих дней, 18 часов работы в сутки, коэффициент неравномерности работы автосамосвалов 1,2. Время цикла подъема считается исходя из семипериодной тахограммы подъема, начало движения до 1 м/с происходит с ускорением 0,3 м/с², дальнейший разгон – с ускорением 0,5 м/с², время смены самосвалов на платформе принято на основе анализа движения автосамосвалов.

Результаты расчетов годовой производительности приведены на рис. 12. Видно, что увеличение скорости более 12 м/с дает прирост годовой производительности установки менее 1 %. Это объясняется возрастанием доли постоянных затрат времени в рамках транспортного цикла подъемника (продолжительность обмена самосвалов на платформах) и возрастанием длительности разгона платформы, т.к. уровень ускорения ограничен по условиям сцепления подъемных канатов со шкивом подъемной машины. Следовательно, рациональный диапазон скоростей подъема может быть принят в пределах 5 – 12 м/с.

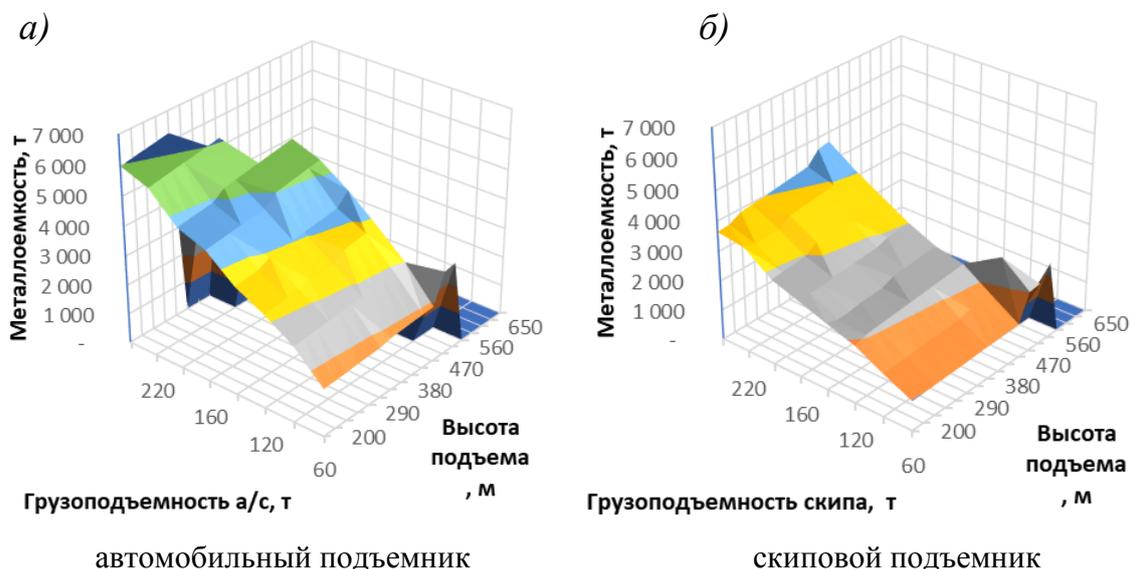


Рис. 13 – График зависимости металлоемкости от грузоподъемности и глубины подъема

Металлоемкость НКП включает в себя массу сосудов или платформ (0,9 от массы полезного ископаемого для скипа или полной массы груженого самосвала для платформы), подъемных машин, отклоняющих шкивов, рельсовых путей, грузовых и уравновешивающих канатов, подобранных в соответствии с высотой подъема.

Также выполнены предварительные расчеты металлоемкости для автомобильного и скипового НКП (рис. 13). Как видно из графика, металлоемкость существенно возрастает с увеличением грузоподъемности самосвала (260 т металлоемкости на каждые 10 т грузоподъемности автомобильного НКП, 170 т на каждые 10 т для скипового НКП). Увеличение высоты подъема влияет на металлоемкость в меньшей степени. Ограничением высоты подъема является прочность канатов. В рамках общепринятых конструктивных решений скипового подъема высота подъема для АНКП должна быть не более 470 – 500 м (длина наклонной трассы 600 м). Это объясняется критическим возрастанием коэффициента запаса прочности. Целесообразно принять эту высоту в качестве ограничения области исследования для карьерных автосамосвалов грузоподъемностью более 90 т.

Заключение

1. Изначально наклонный подъем применялся для повышения производительности карьера, ограниченной низкой грузоподъемностью автосамосвалов и малой скоростью подъема и снижения себестоимости в условиях глубоких с ограниченными размерами в плане карьеров. Однако при совершенствовании конструкции автосамосвалов, повышении их производительности и экономичности необходимость применения скиповых подъемников прежней конструкции потеряла актуальность.

2. С повышением средней глубины карьеров с ограниченными размерами в плане существенно возрастает себестоимость доставки руды с нижних горизонтов на поверхность (затраты на транспорт в себестоимости руды превышают 50%). Кроме того, размещение на бортах карьера полноразмерных транспортных берм требует выемки дополнительного объема вскрыши. Решением проблемы могут быть наклонные карьерные подъемники перспективной конструкции (скиповые или автомобильные).

3. НКП, построенный в карьере в период открытой добычи полезного ископаемого, может использоваться и при доработке запасов месторождения подземным способом, в этом случае руда транспортируется до подъемника шахтным транспортом.

4. Установлен рациональный диапазон параметров наклонных карьерных подъемников для дальнейших исследований:

- высота подъема от 100 до 500 м;
- скорость подъема от 5 до 12 м/с;
- производительность от 5 до 25 млн т/год;
- углы наклона от 30 до 70°;
- грузоподъемность скипа от 30 до 500 т, автосамосвала (при автомобильном подъемнике) – от 30 до 300 т.

Литература

1. Бейгбедер Д. Альбом. Кривой Рог - Гданцевка. 1899 / Д. Бейгбедер. - URL: <http://sudilovski.livejournal.com/67427.html> (дата обращения: 15.07.2020).
2. Долинин К.А. Опыт проектирования и строительства на Сибайском карьере первого в СССР наклонного скипового подъемника / К. А. Долинин // Материалы III всесоюзной научно-технической конференции по карьерному транспорту. - Свердловск, 1973 – С. 331–341.
3. Садыков Е.Л. Повышение эффективности многоканатных наклонных подъемных установок / Е.Л. Садыков – Екатеринбург: УГГУ, 2011. – 159 с.
4. Кулешов А.А. Автомобильный карьерный подъемник с автономным приводом / А.А. Кулешов, Ю.Д. Тарасов // Известия вузов. Горный журнал. -2001. -№1. – С. 53-56
5. Механико-гидравлический фрикционный подъемник для карьеров / В.И. Белобров, В.А. Кабанов, С.С. Наумов, А.Н. Никифоровский // Известия вузов. Горный журнал. - 1988. - №4.
6. А.с. 839967 Российская Федерация, МПК В66В15/00. Шахтный многоканатный подъемник / В.И. Вавиловский, И.С. Назаренко, А.А. Сорокин, С.С. Ястребов, М.Н. Карпов, В.В. Вавиловский, Ю.В. Богданов; заявитель и патентообладатель Сибирский металлургический институт. – № 2813637, заявл. 03.09.1979, опубл. 23.06.1981, Бюл. № 23.
7. Пат. 2636634 Российская Федерация, МПК В65G 17/12, В65G 37/00, В65G 47/58, В65В 15/08, Е21С 41/26, Е21С 47/00, Е21F 13/04. Крутонаклонная конвейерная установка для открытой горной выработки / Верре Клаус, Вольперс Франц М., Папажевски Детлеф, Раац Виктор; заявитель и патентообладатель ТиссенКрупп Индастриал Солюшенз АГ. – № 2014132232, заявл. 30.01.2013, опубл. 24.11.2017, Бюл. № 3.

8. 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.
9. Пат. 2069637 Российская Федерация, МПКВ66В 19/06. Устройство для транспортирования грузов / А.Ю. Макеев, А.П. Комиссаров; заявитель и патентообладатель Уральский горный институт им. В.В. Вахрушева. – № 93008412, заявл. 09.02.1993, опубл. 20.04.1995.
10. Способы повышения производительности горнотранспортного комплекса глубокого карьера / М.Н. Андреев [и др.]// Евразийский союз ученых. - Москва, 2015. - № 6(15).
11. FranzWolpers / Thyssenkrupp'sSkipWaySystemoffersanalternative // Engineeringandminingjournal. – 2016. - №1. – С. 32 - 38.
12. БуклетSiemugTrucklift system. technical information. - URL:<https://www.yumpu.com/en/document/view/53586475/trucklift-system> (дата обращения: 15.07.2020)
13. Кидяев В.А. Обоснование схем вскрытия карьеров на заключительных этапах открытой разработки при освоении месторождений открыто-подземным способом : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22, 25.00.21 / В. А. Кидяев; Магнитогорский гос. техн. ун-т им. Г.И. Носова. - Магнитогорск, 2013. - 148 с.
14. Томилина Н.Г. Обоснование схем вскрытия карьеров на заключительных этапах открытой разработки при освоении месторождений открыто-подземным способом: дис. ... канд. техн. наук. — Магнитогорск, 2014. — 147 с.
15. Васильев М.В. Комбинированный транспорт на карьерах / М.В.Васильев. – Москва : Недр, 1975. – 357 с.
16. Об утверждении "Правил безопасности в угольных шахтах" : постановление госгортехнадзора РФ от 05.06.2003 N 50. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499060050> (дата обращения: 15.07.2020).
17. Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" : приказ от 11 декабря 2013 г. № 599. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499066482> (дата обращения: 15.07.2020).
18. Носырев Б. А. Проектирование подъемных установок: учебное пособие / Б.А. Носыров. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1994. - 132 с.