

УДК 622.68:621.86.032

Чендырев Михаил Андреевич

лаборант,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: Chendyrev@igduran.ru

Журавлев Артем Геннадиевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: juravlev@igduran.ru

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНОЙ КАРЬЕРНОЙ НАКЛОННОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ*

Аннотация:

В данной статье представлены результаты исследований карьерных наклонных подъемных установок. Выявлены зависимости конструктивных параметров установки от основных входных параметров – длины и угла подъема, грузоподъемности самосвала. Освещены некоторые аспекты строительства подъемной установки, рассмотрены варианты конфигурации нижнего загрузочного пункта, уравновешивания платформ для размещения автосамосвалов.

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

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.133

Chendyrev Mikhail A.

assistant,
The Institute of mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg, 58 Mamin-Sibiryak st..
e-mail: Chendyrev@igduran.ru

Zhuravlev Artem G.

candidate of technical sciences,
chief of the laboratory,
The Institute of mining UB RAS
e-mail: juravlev@igduran.ru

THE FEATURES OF QUARRY SLOPING TRUCK HOISTING INSTALLATION CONSTRUCTION

Abstract:

This article presents the results of quarry sloping hoisting installations researches. The dependences of installation structural parameters on the main input parameters - the length and angle of ascent, dump trucks lifting capacity are revealed. Certain aspects of the hoisting installation construction are dealt with; options for the lower boot station location, as well as balancing platforms to accommodate trucks are investigated.

Key words: open pit sloping truck hoisting installation, special modes of transport, open pit's completion, rope hoist, open pit transport, multiroping hoist, hoist engines

Мировой опыт применения скиповых наклонных установок на карьерах берет начало примерно с 1904 г. Технология преимущественно применялась на карьерах с рудами металлов. При существовавшей в то время невысокой грузоподъемности колесного транспорта (начиная с гужевых повозок и заканчивая первыми автосамосвалами до момента создания специализированных карьерных автосамосвалов) вплоть до середины XX века прямой подъем по борту карьера обеспечивал хорошие технико-экономические показатели для карьеров со сжатыми в плане размерами. В связи со значительным совершенствованием карьерных автосамосвалов наклонные карьерные подъемники уже уступают по производительности автотранспорту и их применение ограничено.

На сегодняшний день многие карьеры достигли большой глубины (300–500 м), и актуален вопрос поиска способов отработки их глубинной части без разноса бортов при одновременном сокращении затрат на подъем горной массы. В связи с этим имеет смысл проанализировать возможность и целесообразность применения наклонных подъемников для глубоких карьеров, позволяющих сократить коэффициент вскрыши, уменьшить выбросы вредных веществ с отработавшими газами автосамосвалов, сократить их парк.

Исторически одно из первых применений наклонного подъема – Гданцевка, Кривой Рог, конец XIX века. Разработка месторождения осуществлялась комбинированным

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания 07-01398-17-00, тема № 0405-2015-0010

способом, при этом трасса наклонного подъема частично проходила по выработке в борту карьера и имела специальные мосты для прохода над ней (рис. 1).



Рис. 1 – Саксаганский рудник (г. Кривой Рог, ориентировочно 1899 г.) [1]

В России единственным проектом применения наклонного скипового подъемника, расположенного в открытом исполнении на борту карьера, был Сибайский карьер (рис. 2). Подъемник имел грузоподъемность 40 т, располагался на нерабочем борту карьера и имел максимальную вертикальную высоту подъема 372 м. Место установки подъемника выбрано с учетом возможного размещения поверхностных сооружений подъемника, наиболее устойчивых пород в борту карьера, достижения бортом границы карьера и минимального расстояния до отвалов. До ввода в эксплуатацию скипового подъемника, поднимающего руду и породу, на карьере применялся автомобильно-железнодорожный транспорт [2, 3]. Подъемник использовался на карьере с 1972 г. на протяжении 25 лет [4], а в целом доработка Сибайского карьера открытым способом завершилась в 2008 г.

Применение скиповых подъемников ограничивает ряд недостатков, среди которых – необходимость перегрузок и доизмельчения породы и, следовательно, размещения внутри карьера дополнительного оборудования, что усложняет технологическую цепочку, снижает надежность системы, требует дополнительного пространства для размещения крупного оборудования.

Для устранения этих недостатков рядом специалистов предлагается автомобильная наклонная карьерная подъемная установка (АНКП) [5, 6, 7], в которой вместо скипа используется платформа для поднятия груженого самосвала. Такая схема позволит

- исключить перегрузку горной массы (на поверхность поднимается загруженный самосвал, и может продолжить движение до места назначения);
- экономить дизельное топливо и ресурс самосвалов;
- снизить загазованность в карьере;
- сократить парк самосвалов в сравнении с вариантом доставки горной массы автосамосвалами на поверхность без подъемника.



Рис. 2 – Трасса и разгрузочный пункт наклонного карьерного скипового подъемника на Сибайском карьере (фотоматериалы из архива ИГД УрО РАН)

Конструкция автомобильного наклонного подъемника рассматривалась отечественными специалистами лишь для нескольких карьеров, в частности в работе [5] рассмотрен вариант автомобильного наклонного подъемника для карьера «Юбилейный».

С целью определения технико-технологических параметров такого вида транспорта были выполнены расчеты, включающие

- расчет основных конструктивных параметров (типы и количество канатов, подъемных машин, мощность и параметры приводов, приблизительные массогабаритные показатели);
- расчет технологических параметров (скорости подъемника, производительность, расход электроэнергии и др.).

График годовой производительности подъемной установки при использовании самосвала грузоподъемностью 136 т представлен на рис. 3. Видно, что с ростом высоты подъема производительность снижается (примерно 4 – 5 % на каждые 50 м подъема), а вот влияние угла наклона подъемника не столь существенно. Расчеты также показали, что повышение грузоподъемности подъемника увеличивает его производительность прямо пропорционально: с 4,6 млн.т/год для 45-тонного автосамосвала до 18 млн.т/год для 220-тонного при высоте установки 300 м.

При расчетах оценивалась также металлоемкость АНКП (рис. 4) основных узлов (клетки, подъемные машины, подъемные канаты и противовес, отклоняющие шкивы, рельсовые пути, вспомогательные конструкции подъемного механизма). Так, с увеличением высоты подъемника с 100 до 500 м его масса возрастает на 26 – 30 %, повышение же грузоподъемности на каждые 50 т влечет увеличение массы на 180 – 220 т. Видимые переломы на графике металлоемкости связаны со ступенчатым изменением компоновки (увеличением количества тяговых электродвигателей, количества и типоразмера канатов и др.).

При существенном увеличении подъемной силы свыше 4 500 кН (соответствует подъему автосамосвала грузоподъемностью 240 т) начинает проявляться ряд конструктивных ограничений для дальнейшего ее наращивания:

– увеличение количества тяговых канатов ведет к возрастанию их массы и массы их уравнивающих частей, а также размеров барабанов подъемной машины, что еще увеличивает массогабаритные показатели;

– возникают сложности с электроприводом (количество тяговых электродвигателей больше 4);

– увеличение массогабаритных параметров нижнего загрузочного пункта.

Теоретически при сохранении принятых в расчетах компоновочных решений всей установки и подъемных машин масса металлоконструкций подъемника для автосамосвала грузоподъемностью 450 т (БелАЗ-75710) составит 3 900 – 4 450 т в зависимости от глубины. Однако возможность реализации на практике такой конструкции требует отдельной проработки.

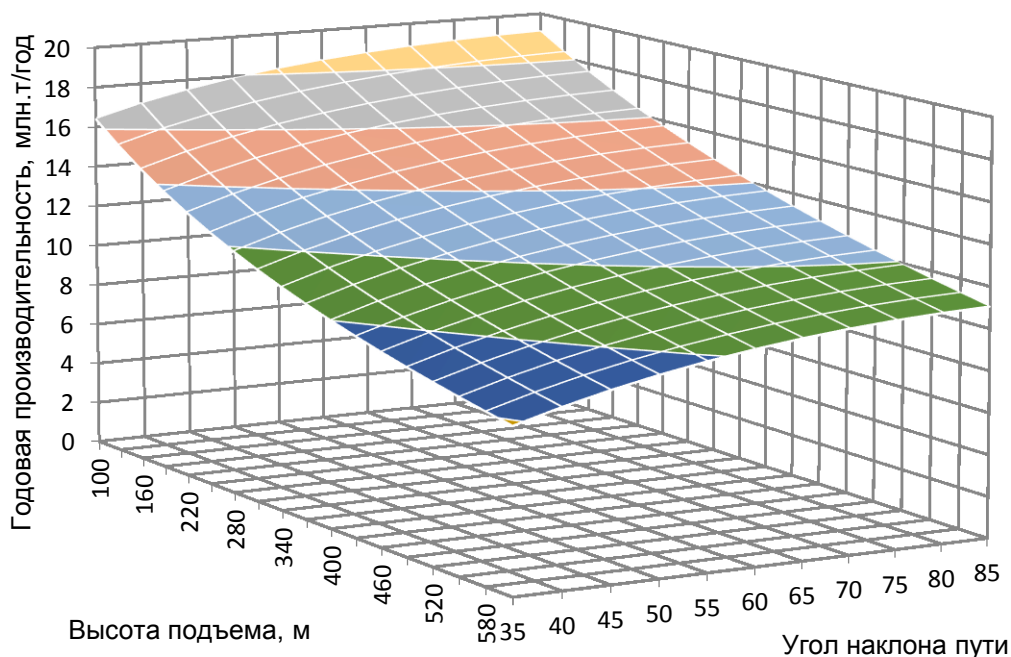


Рис. 3 – График зависимости годовой производительности АНКП при использовании самосвала грузоподъемностью 136 т

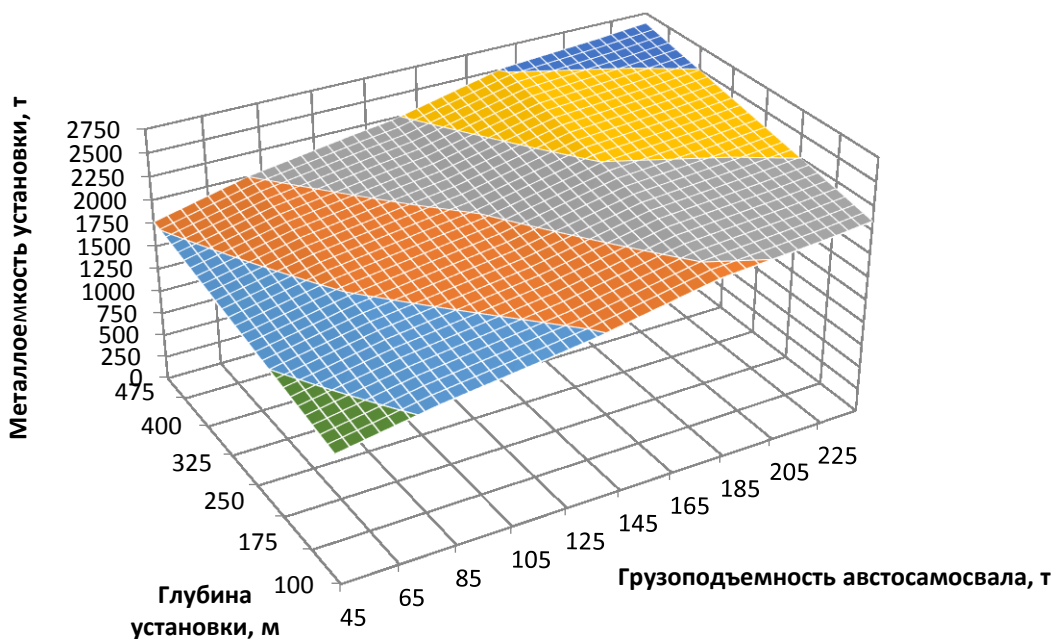


Рис. 4 – График зависимости металлоемкости АНКП от его параметров (угол наклона трассы принят равным 45 градусам)

Ниже приведены некоторые конструктивные требования к карьерным наклонным подъемникам, сформулированные с учетом опыта, изложенного в научно-технической литературе.

Трасса наклонного подъема

Подъемная установка состоит из здания подъемных машин, укрепленной выработки в борту карьера, подъемных сосудов/платформ, нижнего загрузочного пункта (НЗП) и верхнего разгрузочного пункта (ВРП) (рис. 5).

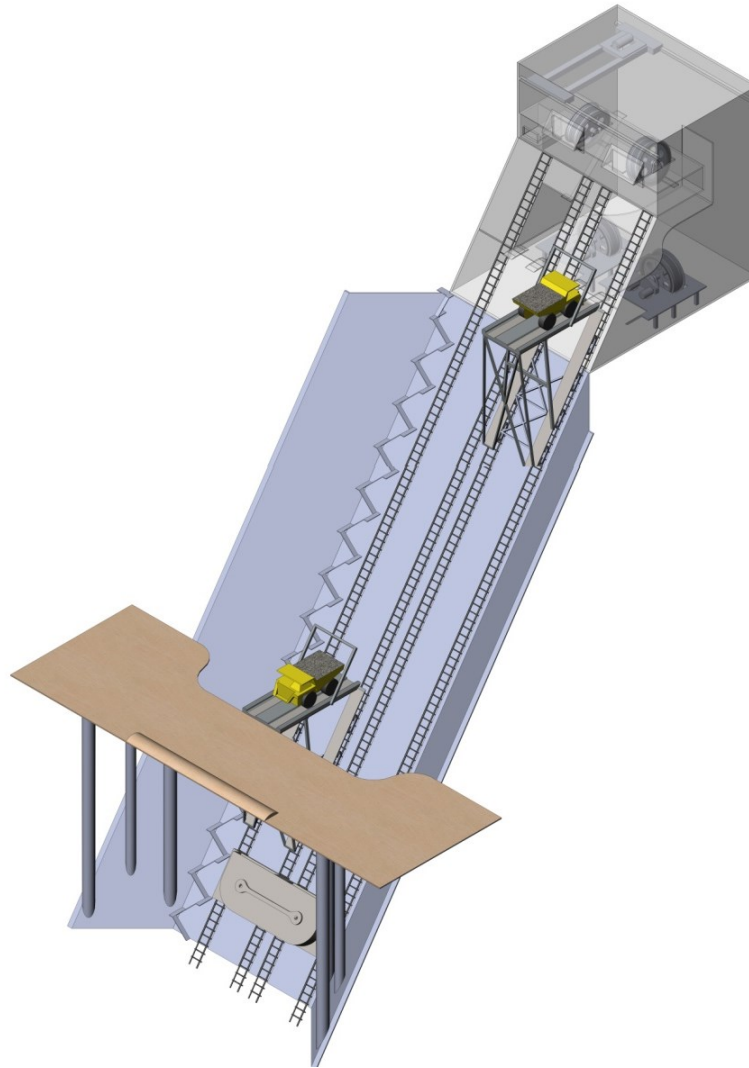


Рис. 5 – Общий вид автомобильной карьерной наклонной подъемной установки (высота трассы условно уменьшена)

Платформы или скипы соединены подъемными канатами через систему подъемных машин и отклоняющих шкивов и движутся поочередно челночно вверх-вниз (один поднимается – второй опускается).

Выбор расположения трассы подъемника осуществляется исходя из нескольких условий. В связи с тем, что трасса подъемника стационарна, ее следует размещать на нерабочем борту карьера. Трасса должна иметь относительно прямолинейную траекторию [8] для минимального изменения угла наклона грузовой платформы к горизонту в процессе движения вверх и вниз, а также изменения распределения нагрузки на опорные механизмы.

Трасса подъемника прокладывается непосредственно по борту карьера, и может наращиваться с глубиной для увеличения высоты подъема. При выборе трассы всегда учитывается следующая закономерность: с увеличением угла наклона трассы давление от сосуда на трассу уменьшается, но увеличивается нагрузка на тяговые канаты. В случае

мягких либо сыпучих пород поверхность трассы может бетонироваться. В качестве направляющих для движения сосудов прокладываются железнодорожные пути соответствующей нагрузочной способности [9]. Важный вопрос – провисание подъемных канатов. В зависимости от их параметров применяются соответствующие поддерживающие устройства, а при необходимости также устраивается соответствующей глубины канал для исключения соприкосновения канатов с поверхностью траншеи. Также в траншее располагается водоотливная канавка и лестницы для пешего подъема.

Подъемные сосуды

В качестве подъемного сосуда может применяться скип [10, 11] либо платформа для размещения автосамосвала [5, 12].

Серийно выпускаемые скипы для шахтного подъема имеют вытянутую форму, так как при этом используется меньшее поперечное сечение ствола. Поэтому их применение не обеспечит должной производительности для карьера в связи с ограниченной грузоподъемностью (до 75 т). Кроме того, ввиду ограниченного объема приемного бункера скиповой установки существуют определенные ограничения и по соотношению грузоподъемности (вместимости) кузова автосамосвала и скипа для обеспечения ритмичной работы каждого из звеньев, работающих в единой транспортной системе. Тем не менее конструкция шахтных скипов имеет и определенные преимущества для применения в карьерном подъемнике: за счет вытянутой формы подъемных сосудов траншея для трассы подъема будет иметь минимальную ширину, хотя увеличится высота переподъема.

Одним из ограничений для применения скиповых подъемников в карьерах является необходимость дробления перед загрузкой в стандартные скипы. Решить эту проблему можно, изменив геометрию скипов, которые будут способны принимать крупнокусковую горную массу, как и кузов автосамосвала. За счет исключения дробилки будет достигнуто сокращение размеров нижнего загрузочного пункта.

В случае АНКП в качестве подъемного устройства используется платформа для размещения самосвала. При этом высота загрузочного и разгрузочного пунктов будет минимальной, но нагрузки на подвижные и опорные механизмы увеличиваются почти вдвое.

Загрузочный и разгрузочный пункты подъемника

Конструкция верхнего разгрузочного пункта может иметь следующие варианты в зависимости от организации въезда – выезда автосамосвалов:

- при размещении автосамосвала на платформе подъемника перпендикулярно к борту карьера необходимо организовать безопасный проезд через здание подъемных машин;
- при размещении автосамосвала на платформе параллельно борту карьера необходимо создать безопасные условия для движения задним ходом при въезде/выезде с платформы либо для проезда самосвала над траншеей;
- при размещении автосамосвала на платформе параллельно бровке уступа и на разных горизонтах разгрузки необходимо организовать безопасный проезд автосамосвалов над тяговыми канатами платформы, располагающейся на нижележащей ветви.

Наиболее компактной будет компоновка здания подъемных машин в случае его расположения непосредственно у бровки верхнего уступа, но при этом из-за изменения угла обхвата отклоняющихся шкивов необходим больший их диаметр, что несколько увеличит металлоемкость конструкции. В случае же отнесения подъемных машин дальше от края карьера будет увеличена общая площадь поверхности, занимаемая сооружениями.

Рельсовый путь должен возвышаться над площадкой выгрузки самосвала с платформы с целью обеспечения высоты переподъема на случай нештатных ситуаций при работе приводов подъема (снижение эффективности торможения, отказ автоматики и т.п.).

Наиболее сложен вопрос конструирования нижнего загрузочного пункта. Это связано с необходимостью учитывать несколько взаимопротиворечивых обстоятельств:

- схема движения автосамосвалов должна быть простой с минимумом маневров, обеспечивать быстрый обмен самосвалов;
- ширина площадки НЗП должна быть минимальной как по ширине, так и по высоте (при разноуровневой схеме);
- конструкция и схема движения на верхнем разгрузочном пункте должны быть максимально простыми.

Варианты схем НЗП представлены в табл. 1.

При использовании скипового подъема основные вопросы, возникающие при построении, схожи с АНКП. Отличия состоят в необходимости погрузки/выгрузки горной массы из первичного транспортного звена в скип и затем из скипа в третье транспортное звено [13, 14].

Канатоведущее оборудование тяговой ветви

Канатоведущее оборудование тяговых канатов состоит из приводных и отклоняющих шкивов.

Приводные шкивы имеют 4 – 8 канатов в зависимости от нагрузок. Шкивы приводятся в движение через редуктор от двух двигателей [15], что позволяет использовать двигатели меньшей мощности.

В научно-технической литературе рассматриваются и специфические варианты: привод платформы от ведущих колес автосамосвалов [16] либо использование системы полиспада для сокращения нагрузок [10].

Уравновешивание платформ

При использовании подъемных машин со шкивами трения необходимо не допустить проскальзывания канатов и обеспечить относительную равномерность нагрузки на поднимаемую и опускаемую ветви по мере изменения их длин и относительно равномерную загрузку приводов подъемных машин.

Наибольшая разница натяжения канатов имеет место в начале цикла подъема, когда в нижней части находится груженный самосвал/скип и вся длина тягового каната. При трогании и разгоне всей системы возникают пиковые нагрузки на приводы.

Для решения данной проблемы возможно применение уравновешивающих хвостовых канатов по следующим схемам:

1. Полное уравновешивание канатов. При этом разница в натяжении канатов будет оставаться постоянной на всем протяжении подъема – спуска и будет равной разнице масс, перемещаемых грузовыми платформами/скипами.

2. Применение утяжеленных хвостовых канатов. При этом облегчается начало работы подъемной установки, так как уравновешивается часть груза, но к концу подъема нагрузка на канаты возрастает.

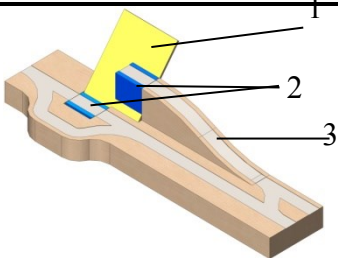
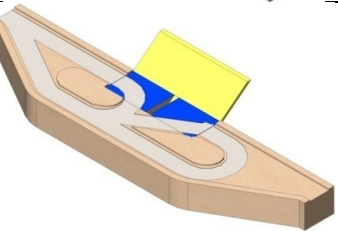
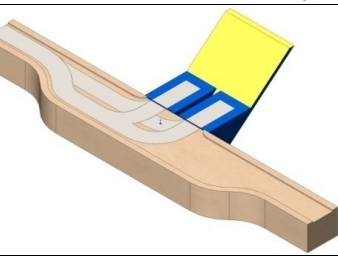
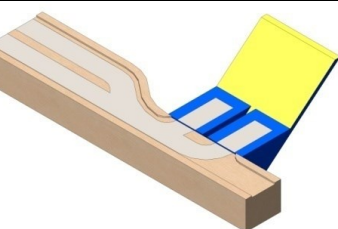
3. Неполное уравновешивание канатов. Помогает сократить разницу в натяжении ветвей, при этом, в сравнении с первыми способами, общее натяжение тяговых канатов меньше. Наиболее приемлемая схема.

Известны и специфические схемы, например, использование платформ со специальным баком, наполняемым водой для уравновешивания горной массы в самосвале на груженной платформе [17].

Из-за отсутствия на хвостовых канатах нагрузки они имеют значительное провисание, что может привести к аварийной ситуации. Для их натяжения можно применить натяжное устройство, состоящее из двух отклоняющих шкивов, установленных таким образом, чтобы их оси вращения были перпендикулярны плоскости трассы. Но в этом случае за счет усилия натяжения нагрузка на тяговых канатах возрастает почти в двукратном размере. Решить проблему можно, уменьшив вес натяжителя, и при этом исключить контакт контактов с поверхностью трассы (траншеи) за счет установки поддерживающих роликов, расположенных вдоль трассы подъема в центральной ее части.

Таблица 1

Схема движения на нижнем загрузочном пункте (НЗП) наклонного автомобильного подъемника

| Схема | Описание | Преимущества | Недостатки |
|---|---|--|--|
|  | Самосвал располагается на платформе параллельно бровке уступа. Выезд осуществляется на отдельном горизонте для каждой ветви. | Отсутствие использования заднего хода при постановке и съезде автосамосвала с платформы подъемной установки. | Громоздкость схемы. Необходимость расширения дорог для безопасной разминки самосвалов. Большая ширина траншеи. |
|  | Самосвал располагается на платформе параллельно бровке уступа. Выезд осуществляется на одном горизонте для обеих ветвей. | Компактность. Расположение НЗП на одном горизонте. | Необходимость маневрирования задним ходом при съезде с платформы или заезде на нее. Большая ширина траншеи. |
|  | Самосвал располагается на платформе перпендикулярно бровке уступа. Выезд осуществляется на одном горизонте. | Прямой проезд самосвала через платформу (въезд на НЗП передним ходом и выезд на ВРП передним ходом и наоборот). Простота въезда и выезда самосвалов. Меньшая ширина траншеи. | Необходимость проезда автосамосвала через (под) здание подъемных машин на верхнем разгрузочном пункте при выезде самосвала с платформы. Уширение площадки (бермы) на уровне НЗП подъемника за счет двухполосной дороги. |
|  | Самосвал располагается на платформе перпендикулярно бровке уступа. Выезд осуществляется на одном горизонте, на однополосную дорогу. | Прямой проезд самосвала через платформу. Компактность схемы. Меньшая ширина траншеи. | Необходимость проезда автосамосвала через (под) здание подъемных машин на верхнем разгрузочном пункте при выезде самосвала с платформы. |

1 – трасса наклонного автомобильного подъемника, 2 – подъемные платформы АНКП для автосамосвалов, 3 – пути движения автосамосвалов

Выводы

1. Применение в качестве карьерного транспорта наклонных подъемников имеет целый ряд потенциальных преимуществ:

- сокращение парка автосамосвалов за счет уменьшенного времени подъема;
- уменьшение расхода дизельного топлива и выбросов отработавших газов;
- возможность увеличения глубины карьера в случае отказа от размещения автомобильных дорог на бортах карьера в зоне вскрытия наклонным подъемником.

2. Недостатки такого вида транспорта:

- ограничение годовой производительности подъемника;
- необходимость длительного строительства и заблаговременного формирования траншеи;
- большая массивность установки включая бетонные и строительные конструкции;
- значительные капитальные затраты;
- сложность формирования вместительного перегрузочного пункта, а потому значительная «привязанность» сборочного автомобильного транспорта и подъемника к взаимной ритмичности работы.

3. Имеет смысл рассмотреть технико-экономическую целесообразность применения наклонных подъемников для карьеров с ограниченными в плане размерами и значительной глубиной, где их преимущество будет и в сокращении разноса бортов за счет заужения или исключения автодорог на бортах карьера.

Литература

1. Бейгбедер Д. Альбом. Кривой Рог - Гданцевка. 1899. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sudilovski.livejournal.com/67427.html> /
2. Васильев М.В. Устройство, опыт эксплуатации и перспективы карьерного скипового подъема / М.В. Васильев // Тр. ИГД МЧМ СССР. – 1975. – Вып. 46. – С. 14 - 25.
3. Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров / М.В. Васильев. – М.: Недра, 1983. – 296 с.
4. Хохряков В.С. Новожилов Михаил Галактанович (1911-1997). К столетию со дня рождения / В.С. Хохряков // Известия Уральского государственного горного университета. – 2012. - № 27 - 28.
5. Эффективность автомобильно-клетевых подъёмников АНК-120 на глубоких карьерах / А.Г. Сисин, В.И. Белобров, М.А. Файнблит, А.Н. Акишев // Горный журнал. – 1995. - № 6.
6. Trucklift technical information. [Буклет] system. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.siemagtecborg.com/cms/upload/downloads/en//TI_27_Trucklift_e.pdf/
7. [Видеофайл] GHD - "Innovation - TULIP Truck lift" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=kZF AU Kh Nt P o> /
8. Жуков Л.И. Карьерные наклонные скиповые подъёмники с выпуклым профилем пути / Л.И. Жуков // Материалы к Всесоюзной науч.-техн. конф. по карьерному транспорту II / М-во черной металлургии СССР; Ин-т горного дела. - Свердловск, 1966. – С. 144 – 145.
9. Волков Г.М. Рельсовые пути карьерных наклонных скиповых подъёмников / Г.М. Волков // Материалы к Всесоюзной науч.-техн. конф. по карьерному транспорту II / М-во черной металлургии СССР; Ин-т горного дела. – Свердловск, 1966. – С. 149 - 151.
10. Многоканатные скиповые наклонные карьерные подъёмные установки грузоподъёмностью 30...180 т / Г.И. Попов, А.Н. Хавро, В.И. Белобров, В.А. Держинский,

Е.К. Кузьменчук // Проблемы карьерного транспорта. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – С. 154 – 158.

11. Носырев Б.А. Основные технологические параметры карьерных наклонных скиповых установок / Б.А. Носырев // Материалы к Всесоюзной науч.-техн. конф. по карьерному транспорту II / М-во черной металлургии СССР; Ин-т горного дела. – Свердловск, 1966. – С. 145 - 149.

12. Использование наклонных подъёмников для транспортирования крупнокусковой горной массы на глубоких карьерах Заполярья / Ю.В. Демидов, Н.К. Трубецкой, С.С. Наумов, О.С. Головатая // Изв. вузов. Горный журнал. – 1998. - № 7.

13. Долинин К.А. Опыт проектирования и строительства на Сибайском карьере первого в СССР наклонного скипового подъёмника / К.А. Долинин // Материалы к III Всесоюзной науч.-техн. конф. по карьерному транспорту. – Свердловск, 1973. – С. 337 - 341.

14. Кубарев С.М. Перегрузочные пункты карьерных наклонных скиповых подъёмников / С.М. Кубарев // Материалы к Всесоюзной науч.-техн. конф. по карьерному транспорту II. – Свердловск, 1966. – С. 149 - 151.

15. Тетяев Е.Ф. Реконструкция электроприводов подъёмных шахтных установок / Е.Ф. Тетяев, С.М. Третьяков, В.В. Романов // Проблемы карьерного транспорта. - Екатеринбург: УрО РАН, 2011. - С 197 – 201.

16. Кулешов А.А. Автомобильный карьерный подъёмник с автономным приводом / А.А. Кулешов, Ю.Д. Тарасов // Изв. вузов. Горный журнал. – 2001. – № 1.

17. Механико-гидравлический фрикционный подъёмник для карьеров / В.И. Белобров и др. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1988. - № 4.

18. Тарасов П.И. Рациональные параметры углубочной зоны при доработке кимберлитовых месторождений / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлёв // Проблемы карьерного транспорта. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 218 – 226.