

УДК 622.232:621.877.3

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.02.085

Беспальков Алексей Андреевич
инженер лаборатории транспортных систем
карьеров и геотехники,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: bespalkov@igduran.ru

Bespalkov Alexey A.
engineer of the laboratory of open pit
transport systems and geotechnics,
The Institute of mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg, 58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: bespalkov@igduran.ru

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

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

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КАБЕЛЬНЫХ КРАНОВ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ*

TECHNICAL ISSUES RELATED TO USING CABLE CRANES FOR MINING OPERATIONS

Аннотация:

В статье рассмотрены вопросы, связанные с обеспечением достаточной производительности и возможности ведения горных работ при использовании в качестве магистрального звена транспорта кабельных кранов. В частности, представлены схемы грузоподъемной тары для кабельного крана, рассмотрен вопрос обеспечения достаточного обзора для оператора и наличия мониторинговой системы при ведении работ кабельным краном в карьере, а также пути увеличения производительности кабельного крана.

Abstract:

The article considers the issues related to providing sufficient performance and possibilities of using cable crane as a trunk link in mining operations. In particular, schemes of containers for cable crane are presented, the question of providing sufficient availability of review and monitoring system for the operator of cable crane in the open pit is considered, as well as the ways of increasing cable performance.

Ключевые слова: кабельный кран, разгрузочная эстакада, саморазгружающийся контейнер, глубокий карьер, система видеонаблюдения, автоматическая система управления, система безопасности

Key words: cable crane, unloading scaffold bridge, self-unloading container, deep open pit, video monitoring system, automatic control system, safety system

Чаще всего связь забоев с поверхностью осуществляется с использованием колесных транспортных средств. Необходимость размещения съездов на бортах карьера влечет значительный объем вскрышных работ, что требует поиска технологий и соответствующих горнотранспортных машин, позволяющих снизить объемы вскрыши [1]. Одним из вариантов сокращения объема вскрышных работ и/или при прочих равных условиях увеличения глубины карьера, отрабатываемого по углубочной системе разработки, является бестраншейное вскрытие нижних горизонтов карьеров. В качестве варианта транспорта для доставки горной массы в пределах зоны бестраншейного вскрытия рассматривается кабельный кран.

Кабельные краны являются достаточно специфическим видом подъемно-транспортного оборудования, и их применение целесообразно для карьеров определенной формы (глубокие карьеры с крутым залеганием рудного тела). Их применение в горном деле не имеет широкого распространения, а потому мало изучено в данной сфере. Поэтому некоторые технические вопросы, связанные с обеспечением достаточной произ-

* Исследования выполнены в рамках Государственного задания 007-01398-17-00, тема № 0405-2015-0010

водительности и возможности ведения горных работ кабельным краном, до сих пор остаются открытыми, и часть из них рассмотрена в данной статье.

Известны технологии бестраншейного вскрытия кабельным краном месторождений природного камня большой мощности либо значительной протяженности фронта работ [2].

В патенте №2571776 «Способ открытой разработки крутопадающих рудных тел» (разработчик – Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО)) описано применение кабельных кранов для отработки ограниченных в плане крутопадающих залежей – кимберлитовых трубок. Способ предполагает поэтапную отработку месторождения открытым способом с применением транспортной углубочной системы разработки. При этом с определенной глубины нижняя часть карьера отстраивается без транспортных берм, с доставкой горной массы в нижней части специализированным подъемным устройством (СПУ) – кабельным краном со стационарными опорами [3].

Применение такой технологии влечет за собой ряд проблем, в частности:

- ограниченность производительности кабельного крана, особенно при значительной высоте подъема (зоны бестраншейного вскрытия);
- обеспечение устойчивости уступов, на которых размещаются башни кабельных кранов;
- ограниченность обзора рабочей зоны крана, особенно на участке загрузки транспортного сосуда в придонной части карьера;
- риск возникновения раскочки грузового контейнера на тросах;
- комплекс технических вопросов, связанных с необходимостью сокращения времени погрузки и разгрузки транспортного сосуда, автоматизации операций, организации перегрузки из кабельного крана в автосамосвалы, доставляющие горную массу на поверхность и др.

Ниже приведены некоторые предложения, которые в той или иной мере будут способствовать решению указанных проблем.

Лабораторией транспортных систем карьеров и геотехники ИГД УрО РАН проработано компоновочное решение звена транспортной системы, осуществляющей подъем горной массы, включающего пункт загрузки, кабельный кран и верхний перегрузочный пункт в автосамосвалы (рис. 1).

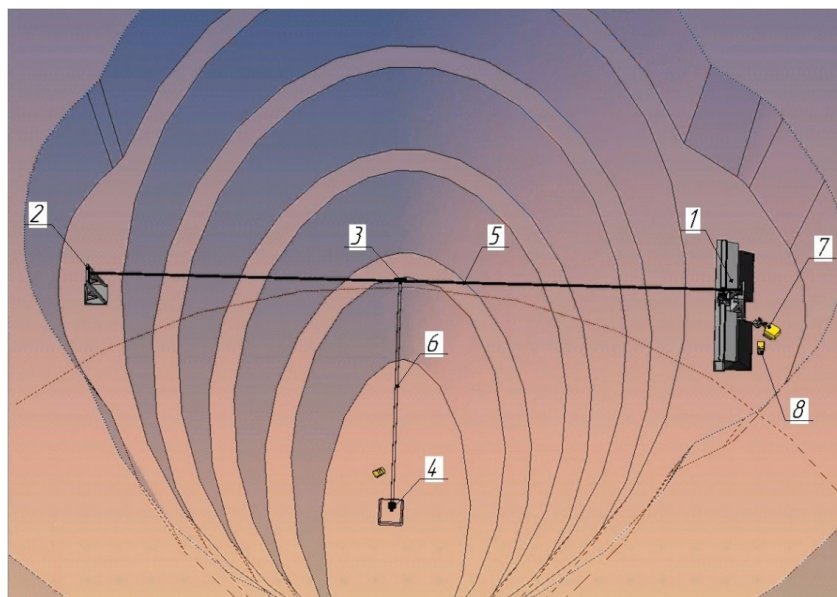


Рис. 1 – Общий вид кабельного крана в карьере:

- 1 – машинная башня кабельного крана с разгрузочной эстакадой; 2 – контрбашня; 3 – грузовая тележка;
- 4 – пункт загрузки контейнера на дне карьера; 5 – несущие канаты; 6 – тяговые канаты; 7 – экскаватор;
- 8 – карьерный самосвал

Кабельный кран состоит из одной машинной башни, расположенной на площадке верхнего перегрузочного пункта и одной контрбашни, размещенной на противоположном борту карьера. Подъем горной массы осуществляется в транспортном сосуде – открытом контейнере, загружаемом внизу в добычной зоне с помощью погрузчика, а разгружается он на верхнем перегрузочном пункте, где осуществляется перегрузка в автосамосвалы.

Поскольку верхний перегрузочный пункт расположен в карьере, одним из ключевых требований к нему является, с одной стороны, минимизация размеров площадки с целью снижения разноса бортов. С другой стороны, поскольку лимитирующим по производительности звеном является кабельный кран, важно в первую очередь обеспечить его бесперебойную работу. Для этого перегрузочный пункт должен иметь достаточную вместимость для обеспечения относительно независимой работы кабельного крана даже в случае остановки по каким-либо причинам верхнего автотранспортного звена.

В связи с этим разгрузка кабельного крана должна выполняться при помощи особой конструкции, обеспечивающей формирование компактного штабеля горной массы с несколькими секциями (на одной ведется разгрузка крана, на другой – погрузка автосамосвалов). Применение накопительного бункера не совсем целесообразно из-за значительных его размеров при требуемой вместимости и проблем со смерзанием горной массы в холодный период. Кроме того, при одновременной выдаче руды и вскрыши необходимо предусмотреть возможность раздельного их складирования.

Такое разгрузочное устройство может быть реализовано в виде эстакады с распределительным устройством. В связи с этим разгрузка контейнера будет производиться в достаточно узкое приемное устройство, что требует проработки схемы грузоподъемной тары.

Схемы грузоподъемной тары для кабельного крана

Для обеспечения работы вышеописанного комплекса необходима специальная грузоподъемная тара, которая обеспечивала бы не только транспортировку горной массы, но и ее автоматическую разгрузку в вагонетку, расположенную на разгрузочной эстакаде.

Авторами проработаны следующие схемы грузоподъемной тары:

1) Контейнер с самозацепляющейся траверсой (рис. 2).

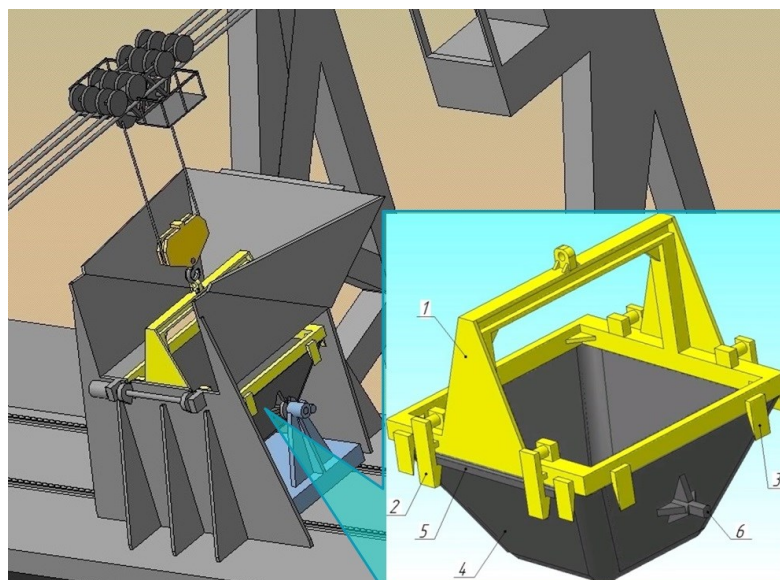


Рис. 2 – Приемное устройство разгрузочной эстакады для контейнера с самозацепляющейся траверсой:

1 – траверса с пружинными зацепами 2 и направляющими лапами 3;
4 – контейнер с планками 5 для зацепа траверсы и цапфами 6 для установки в тележке

При такой схеме груженный контейнер транспортируется краном до разгрузочной эстакады, где происходит установка контейнера на тележку и отцепление его от траверсы специальным устройством. Далее тележка перемещается к определенной оператором точке разгрузки и после выгрузки возвращается к приемному устройству, где траверса автоматически прицепляется к контейнеру и транспортирует его на дно карьера к пункту загрузки.

Основным недостатком данного технического решения является простой крана и потеря его производительности в период разгрузки контейнера.

2) Саморазгружающийся контейнер с конусным затвором (рис. 3).

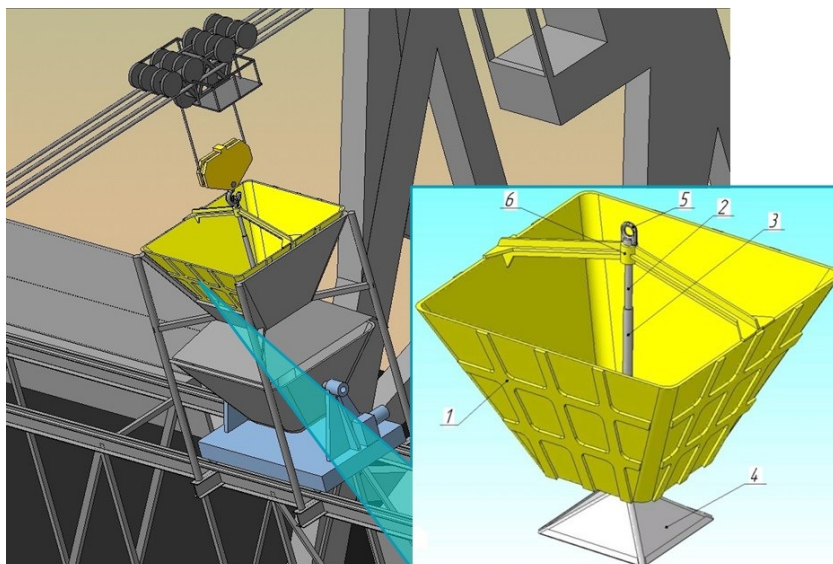


Рис. 3 – Приемное устройство разгрузочной эстакады для саморазгружающегося контейнера с конусным затвором:

1 – корпус контейнера; 2 – штанга; 3 – защитный кожух штанги; 4 – конусный затвор; 5 – рым-гайка; 6 – направляющая

В этом случае контейнер имеет пирамидальное (конусообразное) днище, способное открываться при перемещении штанги. При транспортировании сила тяжести корпуса контейнера и сила давления горной массы на него обеспечивают надежную стыковку посадочного места горловины контейнера с затвором. На месте разгрузки контейнер опускается в приемное устройство, при этом происходит ослабление натяжения грузового каната, и штанга с затвором перемещаются вниз под действием веса горной массы, что приводит к разгрузке.

Преимуществом данного решения перед первым вариантом является сокращение времени разгрузки, т. к. в данном случае нет необходимости отцеплять контейнер. После его разгрузки в вагонетку он сразу транспортируется на дно карьера, а вагонетка независимо от контейнера осуществляет отсыпку штабеля.

Недостатки данного решения следующие: возможна заштыбовка разгрузочной горловины контейнера негабаритными кусками породы; относительно большая зона разлета кусков при разгрузке за счет конусообразной формы затвора.

3) Опрокидывающийся контейнер (рис. 4).

Принцип работы опрокидывающегося контейнера заключается в следующем: груженный контейнер доставляется к приемному устройству, где происходит его зацепление одной из перекладин за крюки на приемном устройстве. Далее оператор крана включает реверсивный ход грузовой лебедки, вследствие чего происходит наклон (опрокидывание) контейнера и его опорожнение в вагонетку. Для предотвращения вылета кусков горной массы за пределы разгрузочной эстакады предусмотрен щит.

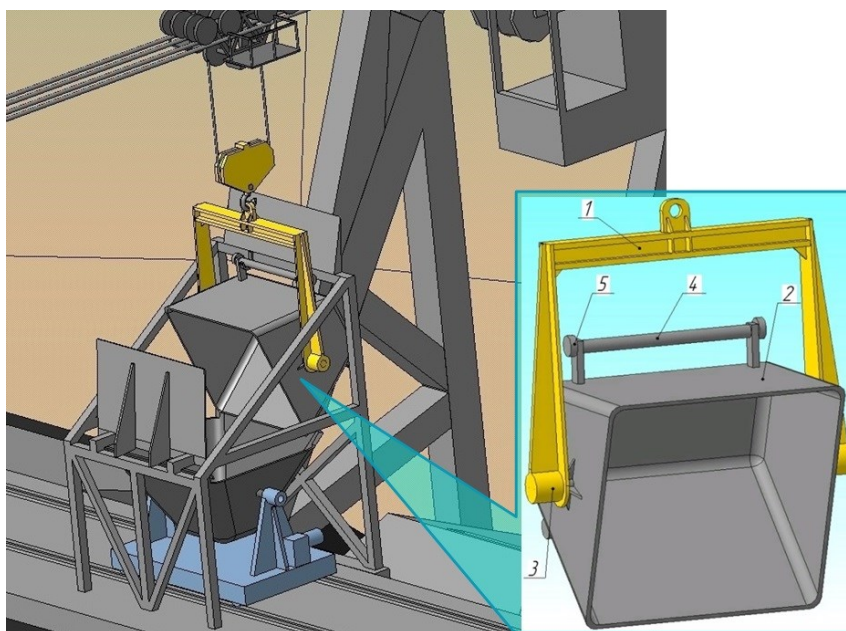


Рис. 4 – Приемное устройство для опрокидывающегося контейнера:
1 – траверса; 2 – контейнер; 3 – подшипниковый узел траверсы; 4 – переключатель; 5 – ролик

Преимущества такого варианта следующие: сокращение времени разгрузки, как и в схеме на рис. 3; более простая конструкция контейнера.

Из недостатков можно выделить увеличенную высоту башен кабельного крана для обеспечения необходимого угла поворота контейнера и сложность установки контейнера на опрокидывающие крюки ввиду его раскочки на канатах.

*Обеспечение обзора для оператора
и предотвращение опасных ситуаций*

Поскольку загрузка контейнера осуществляется в нижней точке карьера на значительном удалении от кабины оператора кабельного крана, вопрос точной установки грузоземного контейнера на место погрузки требует обеспечения хорошего обзора для оператора. Вопрос осложняется тем, что место погрузки на дне карьера неизбежно будет переноситься по мере отработки очередного горизонта для отработки целика под погрузкой.

Проблему, связанную с ограничением обзора оператора крана, можно решить путем применения систем видеонаблюдения и автоматической мониторинговой системы, предупреждающей о возникновении опасной ситуации. Существует целый ряд прототипов таких систем.

Так, в патенте CN103803411B «Cable crane video monitoring system for concrete construction» [4] описывается применение системы видеонаблюдения кабельного крана для ведения бетонных работ: установленная на кабельный кран система включает в себя камеру, установленную на траверсе. Также на грузонесущем устройстве расположены модуль питания и модуль беспроводной связи, который соединен с удаленным сервером, а тот в свою очередь – с дисплеем оператора.

Из существующих аналогов имеется система видеонаблюдения HookCam (рис. 5), разработанная для башенных кранов американской компанией Pacific Systems Solutions. Данная система является беспроводной и передает в кабину изображение с камеры, установленной на крюковой подвеске, позволяя избежать «слепых» зон при работе на башенном кране. По словам производителя, система HookCam может обеспечить 8 – 10 часов автономной работы камер на одном заряде аккумуляторов [5].

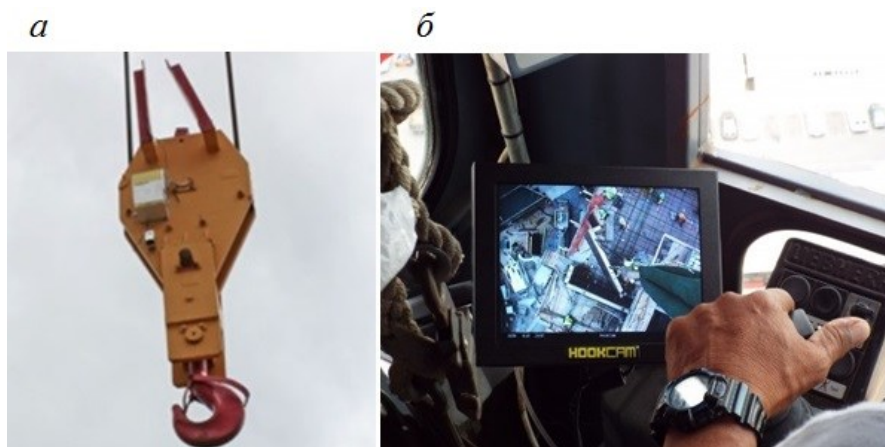


Рис. 5 – Система видеонаблюдения HookCam [5]:

а – камера и герметичный корпус с аккумулятором и устройством беспроводной связи, установленные на крюковой подвеске крана; *б* – монитор, установленный в кабине оператора крана

В настоящее время многими производителями ведутся работы по внедрению многофункциональных систем управления грузоподъемными машинами. Наличие в системе безопасности микропроцессоров открывает широкие возможности формирования на их основе более совершенных систем, в том числе с функциями управления крана, контроля и регистрации его рабочих параметров, с дистанционной передачей информации (мониторинг) и диагностированием неисправностей.

Как правило, все производители подобных систем предлагают большой многофункциональный дисплей, на который выводится информация с датчиков, а также индикаторы системы безопасности. Такие дисплеи обычно содержат графическую и цифровую информацию о массе груза, высоте подъема, вылете каретки, скорости ветра и т.д. [6].

Система сигнализирует оператору в случае превышения грузоподъемности крана, наличии недопустимой скорости ветра, предупреждает оператора о столкновении с окружающими предметами и в случае, если оператор не реагирует на сигналы системы безопасности, автоматически выключает механизмы подъема и передвижения крана.

Таким образом, улучшение условий обзорности возможно за счет применения существующих систем мониторинга состояния и работы кабельного крана и видеонаблюдения. Безусловно, требуется их совершенствование в плане решения проблем: обеспечения надежного электропитания датчиков и видеокамер мониторинговой системы, установленных на крюковой подвеске и контейнере (увеличение емкости аккумуляторов, беспроводная зарядка аккумуляторов, беспроводное питание и др.), улучшения качества видеоизображения при работе в темное время суток.

Пути увеличения производительности кабельного крана

Поскольку единственной грузотранспортной связью между рабочей зоной – дном карьера и верхними горизонтами – является кабельный кран, его производительность будет ограничивать производительность карьера по горной массе. Оценить ее можно по формуле

$$П = \frac{3,6}{T_{ц}} \cdot Q_{п} \cdot t_{см} \cdot N_{дн} \cdot N_{см} \cdot k_{нер} \cdot k_{исп} \cdot k_{т.г.}, \quad (1)$$

где $Q_{п}$ – полезная масса груза, т; $t_{см}$ – продолжительность рабочей смены, ч; $N_{дн}$ – количество рабочих дней в году; $N_{см}$ – количество смен в сутки; $k_{нер}$ – коэффициент неравномерности работы (0,98); $k_{исп}$ – коэффициент использования сменного времени (0,92); $k_{т.г.}$ – коэффициент технической готовности (0,96); $T_{ц}$ – время цикла, с.

Продолжительность транспортного цикла кабельного крана

$$T_{ц} = T_{з} + 2T_{п} + T_{р}, \quad (2)$$

где T_3 – время загрузки контейнера погрузчиком, с; T_n – время перемещения контейнера кабельным краном, с; T_p – время разгрузки контейнера, с.

Предполагаемое время загрузки контейнера объемом $17,5 \text{ м}^3$, фронтальным погрузчиком с вместимостью ковша 6 м^3 264 секунды [7].

Время перемещения контейнера кабельным краном рассчитывается по наибольшему значению, полученному из формул:

$$t_{\text{под}} = \frac{H}{v_{\text{под}}} ; \quad (3)$$

$$t_{\text{гор}} = \frac{S}{v_{\text{пер}}} , \quad (4)$$

где $t_{\text{под}}$ – время подъема, с; $t_{\text{гор}}$ – время горизонтального перемещения контейнера, с; H – высота подъема, м; $v_{\text{под}}$ – скорость подъема контейнера, м/с; S – расстояние от точки загрузки до точки разгрузки (по горизонтали), м; $v_{\text{пер}}$ – скорость передвижения тележки, м/с.

Производительность кабельного крана при доставке горной массы со дна карьера на средние горизонты, рассчитанная по приведенным формулам, представлена на рис. 6.

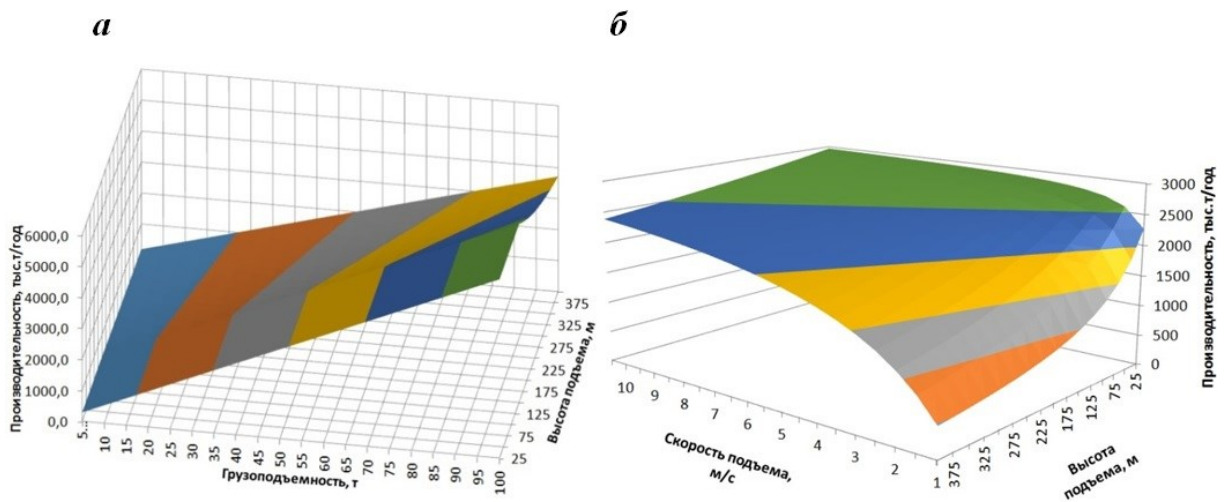


Рис. 6 – Зависимость производительности кабельного крана от основных параметров:

а – от высоты подъема и грузоподъемности (при скорости подъема/перемещения 2 м/с);

б – от скорости подъема и высоты подъема (при грузоподъемности 50 т)

Расчеты показывают, что при высоте подъема 150 м производительность составляет 1,8 – 2 млн.т/год при длине пролета, соответственно, 300 м. Для сравнения, производительность карьера «Ботуобинский» АК «АЛРОСА» составляет 0,6 млн.т/год по руде и 4 млн. м^3 по вскрыше, «Нюрбинский» – 1,2 млн.т/год по руде и 6 млн. м^3 по вскрыше, «Комсомольский» – 1,5 млн.т/год по руде и 6 млн. м^3 по вскрыше [8].

Согласно рассматриваемой технологии применение кабельных кранов предполагается либо на малых карьерах, либо в нижней части карьеров при их доработке, когда объемы добычи будут меньше указанных. Тем не менее очевидно, что для эффективного применения кабельных кранов при подъеме горной массы необходимо увеличение их производительности.

Анализ формул показывает, что производительность комплекса можно увеличить следующими путями:

- 1) Увеличением грузоподъемности крана.

Данный параметр ограничивается устойчивостью породы бортов карьера, где установлен кран (т. к. масса его металлоконструкции напрямую зависит от грузоподъемности), а также возможностью предприятий изготовить кран определенной грузо-

подъемности. После изучения предварительных технических предложений производителей кабельных кранов было выявлено, что максимальная грузоподъемность, которая значится в их технических характеристиках, – это 50 т. Одним из потенциальных производителей кабельных кранов, готовых спроектировать, произвести и смонтировать на месте разработки карьера данное грузоподъемное оборудование, является компания ООО «Кемкран» [9].

2) Увеличением скорости транспортировки контейнера между точками погрузки и разгрузки.

Скорость передвижения тележки и подъема груза возможно увеличивать до достаточно больших величин, ограничиваясь лишь мощностью привода и вытекающими из него габаритами трансмиссии. Рекомендуемые в РТМ 24.090.34-85 предельные скорости составляют: для передвижения тележки 12,5 м/с, подъема груза 6,3 м/с [10]. Значительное повышение рабочих скоростей приводит к перегрузкам канатов из-за поперечных колебаний, возникающих при экстренном торможении, что снижает срок их службы [11].

3) Увеличением коэффициента использования сменного времени – устранением пересменок, перерывов на обед и т.д., т.е. исключением человека из процесса управления комплексом.

Такие технические решения в настоящее время вполне реальны. Так, в патенте [12] рассмотрена система управления в автоматическом режиме кабельным краном, предназначенным для транспортировки бетона на место постройки плотины. Система управления кабельным краном предполагает автоматическую транспортировку бады по кратчайшей траектории, путем вычисления координат положения груза при помощи датчиков веса, электронных дальномеров и энкодеров, установленных на лебедках, и корректирует их, учитывая прогиб несущего каната и действие ветра. Точная установка бады на пункт загрузки и разгрузки происходит при помощи ультразвуковых датчиков обнаружения объекта. Оператор в данной системе выполняет функцию контроля за происходящим процессом и корректирует действия в случае возникновения внештатных ситуаций.

Известна также система GPS-наведения крюковой подвески кабельных кранов, используемых при строительстве плотин, под управлением «искусственной иммунной системы» [13], алгоритмы которой могут определить оптимальный маршрут для бады, предотвращая столкновения с окружающими объектами. Данная система успешно использовалась при строительстве ГЭС Дагангшань (Китай).

4) Увеличение количества подъемно-транспортных устройств.

Это можно осуществить либо увеличением количества кабельных кранов на карьере, но тогда пропорционально числу кранов возрастут и капитальные затраты на осуществление данного проекта. Либо использовать две грузовые тележки, кинематически не связанные между собой, на одном кране путем установки двух машинных башен с разгрузочными эстакадами на противоположных бортах карьера.

Подобное решение описано в патенте [14], где рассматривается кабельный кран с аэростатом, поддерживающим центральную часть несущих канатов. Это решение увеличивает стоимость комплекса в связи с установкой еще одного машинного помещения, грузовой тележки и разгрузочной эстакады, а также массу металлоконструкции самого крана. Передвижение тележек по несущему канату через систему управления синхронизируется так, что в центральной части несущих канатов находится только одна тележка. Это позволяет снизить нагрузки на канаты и уменьшить их металлоемкость.

Вполне возможно, что такая схема применима и без аэростата. В этом случае металлоемкость кабельного крана неизбежно увеличится, однако если использовать предлагаемую в патенте [14] схему синхронизации движения, то рост будет не столь значительным. Схема кабельного крана с двумя грузовыми тележками представлена на рис. 7.

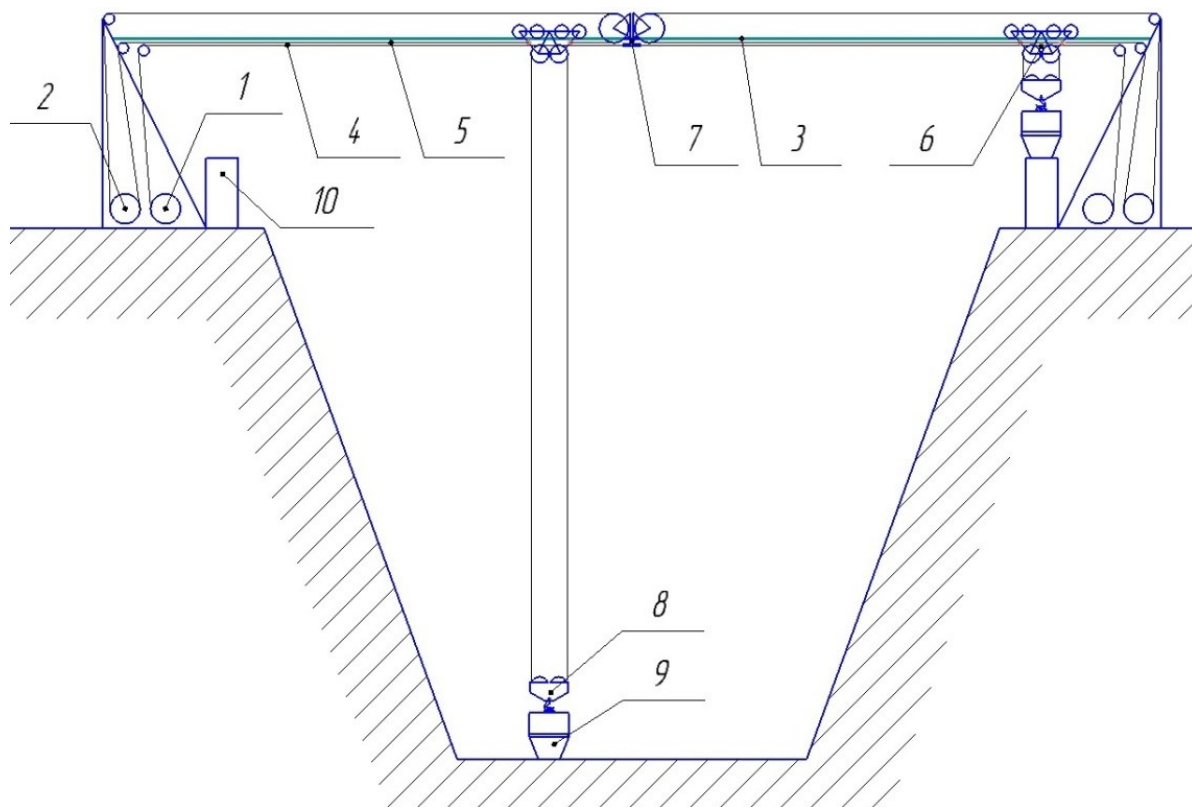


Рис. 7 – Схема кабельного крана с двумя грузовыми тележками:
1 – грузовая лебедка; 2 – тяговая лебедка; 3 – несущий канат; 4 – грузовой канат; 5 – тяговый канат;
6 – грузовая тележка; 7 – промежуточный узел (рис. 8); 8 – крюковая подвеска; 9 – контейнер;
10 – разгрузочная эстакада

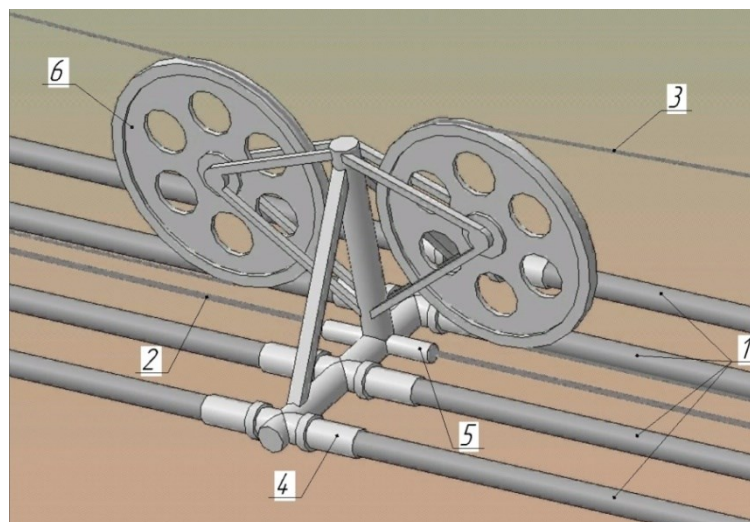


Рис. 8 – Модель промежуточного узла:
1 – несущие канаты; 2 – грузовой канат; 3 – тяговый канат; 4 – концевая муфта несущего каната;
5 – концевая муфта грузового каната; 6 – обводной блок

По расчетам данное решение увеличивает производительность комплекса на 50 % по сравнению с краном с одной тележкой при условии сохранения грузоподъемности каждой грузовой тележки. При этом металлоемкость крана вырастет примерно в полтора раза. С одной стороны, определенные технологические ограничения применения такой схемы связаны с необходимостью организации двух перегрузочных площадок у каждой

машинной башни, что в некоторых условиях может привести к дополнительному разному бортов карьера. С другой стороны, появляется возможность отдельной выдачи руды и вскрыши.

Выводы

1. Одним из решений при доработке карьеров с ограниченными в плане размерами может явиться применение кабельных кранов в качестве технологического транспорта на подъеме горной массы с нижних горизонтов на верхние.

2. Применение современных технических решений позволит решить значительный ряд конструктивных проблем при применении кабельных кранов для транспортирования горной массы в карьерах (повысить их «технологичность», безопасность); полностью использовать существующие резервы достижения максимальной производительности.

3. Ограничивающим параметром для их применения является относительно невысокая производительность, особенно при значительной высоте подъема и длине пролета. Наиболее продуктивным решением будет повышение грузоподъемности (так, повышение скорости на 50 % повысит производительность в среднем на 11 %, а повышение грузоподъемности увеличит производительность прямо пропорционально, соответственно, на 50 %). Однако это приведет к пропорциональному росту нагрузок на башни крана и увеличению их металлоемкости, что усложнит вопросы обеспечения устойчивости башен кранов и пород уступов, на которых они установлены.

Литература

1. Техничко-технологический комплекс для доработки запасов на глубинных горизонтах алмазородных карьеров / А.Н. Акишев, И.В. Зырянов, Б.Н. Заровняев, П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев // Горный журнал. – 2012. – № 12. – С. 39 - 43.

2. Кокунин Р.В. Обоснование условий применения бестраншейного вскрытия на месторождениях природного камня: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / Р.В. Кокунин; УГГУ. - Екатеринбург, 2006. – 131 с.

3. Пат. 2571776 Российская Федерация, МПК⁷E21C41/26. Способ открытой разработки крутопадающих рудных тел / С.Л. Бабаскин, А.Н. Акишев, В.С. Самоловов; заявитель и патентообладатель Акционерная компания "АЛРОСА" (публичное акционерное общество) (АК "АЛРОСА" (ПАО) – № 2014139741/03; заявл. 30.09.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35. – 9 с.

4. Pat. 201410078599.0 China, IPC B66C 21/00, B66C 13/00. Cable crane video monitoring system for concrete construction / 邱向东, 尹习双, 刘金飞, 钟桂良; assignee 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院有限公司. - CN103803411 A; filed 05.03.2014; publ. 21.05.2014 – 6 p.

5. Сайт компании HookCam, раздел FEATURES & DESIGN [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.hookcam.com/features/>

6. Свиридов Д.Ю. Обеспечение безопасной работы башенных кранов / Д.Ю. Свиридов, А.В. Вершинский, А.Н. Шубин // Механизация строительства. – 2012. – № 7. – С. 19 - 24.

7. Беспальков А.А. Разработка глубоких карьеров по бестранспортной схеме с применением кабельных кранов / А.А. Беспальков, А.Г. Журавлев // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: матер. 13 междунар. науч. школы молодых ученых и специалистов, 21 - 25 ноября 2016 г. – М.: ИПКОН РАН, 2016. – С. 159 - 162.

8. Ганченко М.В. Определение границ и оптимизация технологических параметров открытых горных работ / М.В. Ганченко, А.Н. Акишев, В.А. Бахтин // Горный журнал. – 2005. - № 7. – С. 77 - 80.

9. Сайт компании ООО «Кемкран», раздел «Продукция – Стационарные кабельные краны» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.kemkran.ru/Produkcija/shop.product_details/24/kemkran.tpl/100

10. РТМ 24.090.34-85. Краны кабельные. Нормы расчета и проектирования. – Взамен РТМ 24.090.34-77; введ. 1985-17-01. – М.: Министерство тяжелого и транспортного машиностроения, 1985. – 120 с.

11. Куйбида Г.Г. Кабельные краны / Г.Г. Куйбида. – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.

12. Pat. 5,392,935 USA, IPCB66C 21/00. Control system for cable crane / Keizo Kazama, Kiichiro Tanaka, Eiji Takahashi, Michio Nakao; assignee Obayashi Corporation. - US 08/105,979; filed 13.08.1993; publ. 28.02.1995 - 40 p.

13. Wu, H., Yin, Y., Wang, S. et al. GPSSolut (2016). doi:10.1007/s10291-016-0573-6.

14. Пат. 2208571 Российская Федерация, МПК⁷ В66С21/00, В64В1/50. Кабельный кран / З.Ш. Зиганшин, М.Н. Ковалев, В.Н. Жилияев, А.Б. Жорницкий; заявитель и патентообладатель Государственный ракетный центр "КБ им. акад. В.П. Макеева", Открытое акционерное общество "Комбинат "Магnezит" – № 98122567/28; заявл. 15.12.1998; опубл. 20.07.2003, Бюл. № 20. – 3