



УДК 625.52

Т. И. Тарнопольская, к.т.н., доцент кафедры ПМ и ПТМ, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

С. А. Борунов, студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

А. Д. Девин, студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

РАСЧЁТ ТЕЛЕЖКИ ФЕРМЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ КАБЕЛЬНЫХ КРАНОВ

Ключевые слова: кабельные краны, грузовая канатная дорога, крюковой перегрузочный кабель-кран, несущий канат, подъёмный канат, тяговая тележка, изгибные напряжения.

В данной статье рассматривается кабельный кран с тележкой ферменной конструкции. Проведён расчёт и подбор подъёмных, тяговых канатов кабель-крана по расчётному и разрывному усилию. Разработана схема тяговой тележки и подобраны её габариты.

Необходимость развития транспортной инфраструктуры в удалённых районах с минимальными экономическими издержками и без ущерба экологической безопасности региона вызывают необходимость использования кабельных кранов.

Кабельные краны представляют собой достаточно эффективные подъемно – транспортные механизмы, успешно применяемые при восстановлении и строительстве больших и нестандартных мостов, карьерной добычи и создании линий электропередач. Транспортировка тяжелой техники, машин, бетона, для строительства плотин, дорог проводится гораздо легче с их применением.

Кабель-краны и их модификация грузовая канатная дорога (ГКК), являются идеальным решением для перевозки материалов, тяжелой техники в сложных ландшафтно-геодезических условиях, таких как долины, реки, заболоченные места, заповедники, что особенно актуально в труднодоступных условиях Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. ГКК создают прямую связь между точками погрузки и разгрузки.

Грузовые канатные дороги полностью автоматизированы, надежны, безопасны и экологичны, у них низкие эксплуатационные расходы и длительный срок эксплуатации. Отпадает необходимость в дополнительных подъездных дорогах и другой инфраструктуре, которые были бы нужны при транспортировке грузовыми автомобилями.

Такие системы не требуют вмешательства в окружающую среду, так как транспортировка по воздуху исключает необходимость устройства просек в лесных массивах и строительства дорог. После завершения работ и демонтажа конструкции вся экосистема без усилий возвращается к исходному состоянию с минимальными последствиями.

Можно выделить **шесть главных преимуществ кабельных кранов перед традиционными способами** производства перегрузочных работ:

1. Перемещение различных грузов на значительных высотах и на большие расстояния в тяжёлых природно-геодезических условиях и в местности со сложным ландшафтным рельефом.

2. Возможность эффективного доступа ко всей территории строительного участка, при малоэффективности традиционных грузоподъемных систем или проблематичности их применения по причине ограниченного пространства или отсутствия рабочих площадок.
3. Сокращение расходов и сроков строительства из-за отсутствия необходимости в строительстве дорог (подъездов) с обеспечением необходимых уклонов и ширины проездов для техники, разворотных и рабочих площадок, мостов и подпорных стен.
4. Универсальность и модульный принцип компоновки повышает мобильность за счет максимально облегченного и ускоренного монтажа и демонтажа системы, при возможности многократного использования грузовых кабельных кранов на разных объектах.
5. Радиоуправляемая конструкция перемещением грузов позволяет контролировать непосредственно с места производства работ доставку груза до любой наперед заданной точки, повышает безопасность и точность транспортировки.
6. Применение грузовых кабельных кранов максимально сокращает необходимость организации широкой строительной инфраструктуры, что обычно наносит максимальный ущерб природе, окружающей зону производства работ, что повышает экологическая безопасность.

Недостатки кабельных кранов:

1. При кратковременном снятии нагрузки возникают колебания в вертикальной плоскости в результате изменения провисания несущего каната (при опорожнении бабды с бетоном или разгрузке грейфера и др.) при этом тележка описывает в вертикальной плоскости эллипсоидальную кривую. Возникающие импульсные нагрузки могут привести не только к колебательным процессам, но и к возможности обрыва несущего каната, поэтому необходим постоянный контроль за натяжением несущего каната и вант.
2. При перепадах температур изменяется длина каната, при понижении температуры длина каната уменьшается, что увеличивает натяжение и перегрузку вантовых устройств. При повышении температуры длина каната увеличивается, натяжение ослабевает, но увеличивается сопротивление движению грузовой тележки и изгибающее напряжение в канате, хотя избежать этого недостатка возможно используя кабельные краны с канатом, натягиваемым весом контргрузов или изменением наклона башни.

В стандартной модификации кабельный кран состоит из несущего каната и двух опор, между которыми натянут канат. По нему с помощью тягового каната движется грузовая тележка с полиспастом с целью подъема груза.

Мачты кабель-крана могут быть либо стационарного, либо передвижного типа. На неподвижных опорах закреплен канат несущего действия. Конструкция может выполняться с одним или двумя несущими канатами, при перемещении крупногабаритных грузов и для доставки необходимо использовать одновременно две тележки.

Что касается остальных частей кабельного крана, то они являются идентичными, вне зависимости от подвижности крана. Сам процесс работы крана состоит в том, что по канату, который является тяговым средством, происходит движение грузовой тележки. Подъем или спуск груза осуществляется специальным канатом подъемного типа.

Конструкции грузовых и тяговых лебедок, в основном, используются такие же, как и на башенных и козловых кранах. У грузовой тележки кабель-крана (рис. 3) опорно-ходовые ролики желобчатого типа, выполнены по форме и размерам несущего каната. Число опорно-ходовых роликов тележки зависит от грузоподъемности крана. Для осмотра несущих канатов и поддержек на грузовой тележке предусмотрены площадки с ограждениями. В качестве несущих канатов у кабельных кранов применяются спиральные канаты закрытой конструкции.

Технические характеристики. Грузоподъемность рассчитываемого кабель-крана 32 т; вес тележки 5 т., величина пролета крана 800 м. Группы режима работы приведены в

таблице 1. Скорости подъема груза и передвижения тележек (в м/мин) колеблются в пределах:

- подъема груза – 4 м/с
- опускания груза – 10 м/с
- передвижения тележки 8 м/с

Высота опор крана выставляется из условия свободного прохода тележки с грузом над возводимым сооружением равной 80 м. Производительность крана определяется грузоподъемностью и продолжительностью его рабочего цикла.

Таблица 1

Назначение крана	Группа режима работы		
	подъём	передвижение тележки	передвижение груза
Крюковой перегрузочный	4	4	3

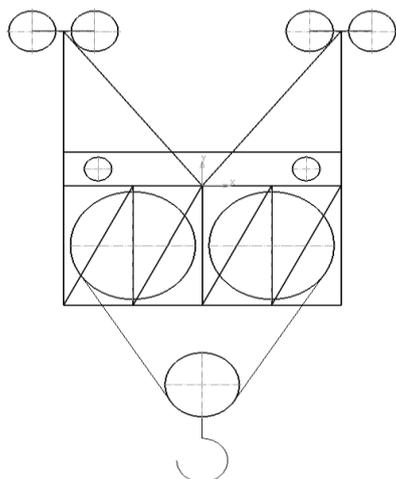


Рис. 1. Расчётная схема тележки кабель-крана ферменной конструкции

Система канатов состоит из несущего, подъемного, тягового и др. канатов, соединенных с грузовой тележкой и объединённых supports.

Для данного типа крана применяется двухъярусная канатная система. На несущем канате должны располагаться supports для подъемного, тягового и др. канатов.

Выше несущего каната, на поддерживающем канате, крепятся supports для хвостовых канатов. Ходовые колеса грузовой тележки устанавливаются на подшипниках качения.

На транспортировочной тележке предусмотрены площадки для осмотра и смазки канатов кабель-крана и смены supports в пролете.

При огибании блока диаметром D проволока толщиной δ и моментом инерции J будет подвержена действию изгибающего момента:

$$M = \frac{EJ}{\rho},$$

где $\rho = 0,5 D$ – радиус кривизны, $E = 2,1 \text{ Н/см}^2$ – модуль упругости стали. Напряжение изгиба при этом составит:

$$\sigma_{и} = \frac{M}{J} \cdot \frac{\delta}{2} = E \frac{\delta}{2\rho} = E \frac{\delta}{D}.$$

Изгибные напряжения в проволоках каната будут значительно меньше вследствие того, что проволоки и пряди представляют собой спирали, обладающие большей гибкостью. Погонное давление при огибании блока канатом, имеющим натяжение t по рис. 1 будет равно:

$$q = \frac{dN}{dS} = \frac{2t \sin \frac{d\varphi}{2}}{R d\varphi} = \frac{t}{R} = \frac{2t}{D}.$$

Среднее удельное давление при диаметре каната d и натяжении троса $t = \psi \frac{\pi d^2}{4} \sigma_p$ составит:

$$p = \frac{q}{d} = \frac{t}{Rd} = \frac{\pi}{2} \psi \frac{d}{D} \sigma_p,$$

где σ_p – напряжение растяжения.

Контактные напряжения понижаются с уменьшением p , увеличением диаметра проволоки δ и уменьшением модуля упругости материала обода. Существенное значение имеет форма канавки, обеспечивающая лучшее прилегание каната.

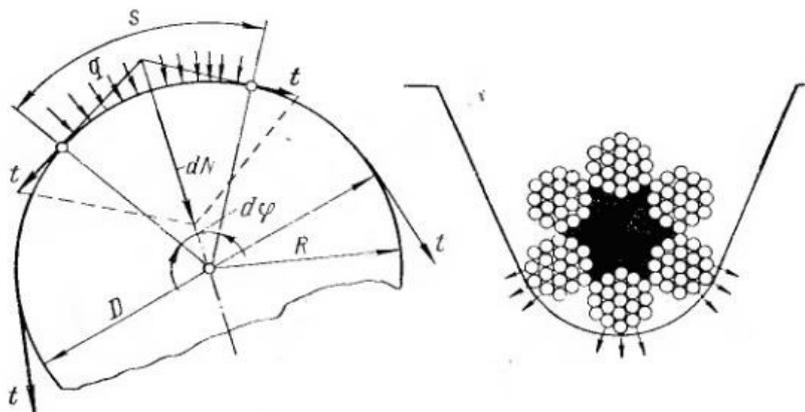


Рис. 2. Схема давления каната на обод блока

С увеличением диаметра блока D уменьшаются напряжения изгиба и контакта. С уменьшением напряжения растяжения σ_p , в свою очередь понижаются контактные напряжения и силы трения между прядями.

Информация по тележке

Расчет подъемного каната:

расчётное усилие в канате S (кН) находим по формуле:

$$S = \frac{Q_H \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta_{н.б.}} = \frac{33,6 \cdot 9,8}{2 \cdot 2 \cdot 0,941} = 87,48 \text{ кН},$$

где $Q_H = Q_{HT} + m_{к.п.} = 32 + 1,6 = 33,6 \text{ т}$;

$m_{к.п.} = 0,05 \cdot 32 = 1,6 \text{ т}$;

$$i \geq \frac{Q_H \cdot g}{2 \cdot [S_{max}]} = \frac{33,6 \cdot 9,8}{2 \cdot 100} = 1,65 \approx 2;$$

разрывное усилие в подъемном канате рассчитывается по следующей формуле:

$$S_p = S \cdot k_{з.п.} = 87,4 \cdot 9,1 = 795,34 \text{ кН};$$

где, S – расчетное усилие (кН)

Q_m – грузоподъемность крана миди (т)

Q_{HT} – грузоподъемность нетто (т)

$m_{к.п.}$ – масса крюковой подвески, (т) $m_{к.п.} = 0,5 \times Q_{HT}$

i – кратность полиспаста

S_p – разрывное усилие в канате

$k_{з.п.}$ – коэффициент запаса прочности

По полученным результатам производится выбор параметров подъемного каната:

диаметр каната = 43,0 мм; канат крестовой свивки типа ЛК-РО по ГОСТ 7668-80:

ЛК-РО 6 × 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 1 о.с. ГОСТ 7668-80. Здесь ЛК- линейное касание, РО- чередующийся диаметр проволок, о.с.- органический сердечник.

Расчет несущего каната:

где $Q_H = Q_{HT} + m_{к.п.} = 37 + 1,85 = 38,85 \text{ т}$;

$m_{к.п.} = 0,05 \cdot 37 = 1,85 \text{ т}$;

$$i \geq \frac{Q_H \cdot g}{2 \cdot [S_{max}]} = \frac{38,85 \cdot 9,8}{2 \cdot 100} = 1,9 \approx 2.$$

Тогда расчётное усилие:

$$S = \frac{Q_H \cdot g}{2 \cdot i \cdot \eta_{н.б.}} = \frac{38,85 \cdot 9,8}{2 \cdot 2 \cdot 0,941} = 101,1 \text{ кН},$$

разрывное усилие в несущем канате рассчитывается по следующей формуле:

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция VII Техническая диагностика и ресурс подъемно-транспортной техники портов и транспортных терминалов

$$S_p = S \cdot k_{з.п.} = 101,1 \cdot 9,1 = 920,4 \text{ кН.}$$

Подбираем закрытый канат диаметром 38,5 мм: 38,5-В-Н 1670 ГОСТ 7675-79. В маркировке используются обозначения: В- марка проволоки, Н- нераскручивающаяся.

Применяемые канаты для данного типа грузовой тележки:

Подъемный канат: канат крестовой свивки типа ЛК-РО 6 х 36 (1+7+7/7+14) о.с. ГОСТ 7668-80.

Несущий канат: закрытый канат 38,5 – В – Н 1670 ГОСТ 7675-79.

Тяговый канат: канат односторонней свивки ЛК-РО 6 х 36 (1+7+7/7+14) о.с. ГОСТ 7668-80.

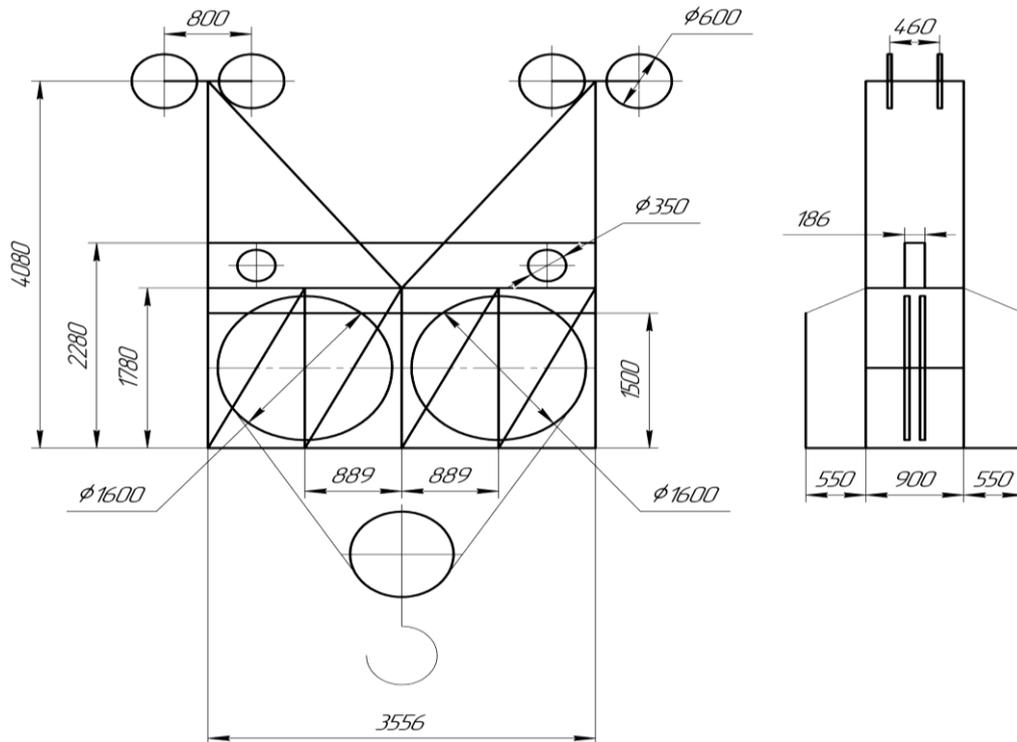


Рис. 3. Транспортiroвочная тележка кабель-крана

Кабельные краны при существенной простоте конструкции, мобильности использования и невысокой себестоимости эксплуатации дают возможность с высокой успешностью и производительностью решать задачи по выполнению погрузочно-разгрузочных и транспортных операций на протяжённых рабочих участках, практически независимо от климатических и гидрогеологических условий. Модульность компоновки и высокая мобильность КК позволяет обеспечить оперативную доставку в заданную точку и адаптивный монтаж в требуемой конфигурации для конкретных условий.

На данный момент в России используется большое число специализированного и универсального перегрузочного оборудования, в том числе и ГКК, КК зарубежного производства, поэтому назрела насущная необходимость для создания собственного современного рынка в сегменте грузовых канатных дорог и кабельных кранов. Наступило время для активной разработки подъёмно-транспортных механизмов данного типа, что при государственной поддержке импортозамещения технического оборудования позволит российскому производителю занять экономически выгодную нишу, т.к. производственные возможности предприятий позволят справиться с поставленной задачей.

Список литературы:

- [1] <http://s-macine.ru/page/gruzopodemnie-mashini/53-kabelnie-krani>
- [2] <http://www.mining-enc.ru/k/kabel-kran/>

- [3] Скворцов, Б.М. Подъемно-транспортное оборудование. Каталог-справочник./ Б.М. Скворцов - М.: ЦИНТИМ, 1962,- 430 с.
- [4] Дукельский, А.И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны./ А.И. Дукельский. – М.: Машиностроение, 1966 г.- 485 с.
- [5] Справочник по кранам: в 2-х томах/ под ред. М.М. Гохберга. - М.: Машиностроение, 1988 - Т.1 - 536 с. - Т.2 - 560 с.
- [6] Кобзер, А.П., Пономарев, В.П. Козловые краны и мостовые перегружатели. Краны кабельного типа/ А.П. Кобзер, В.П. Пономарев. - Красноярск, 2005г. – 140 с.
- [7] В.А. Поскрёбышев, В.С. Кузнецов «Машины и механизмы для транспортирования грузов на предприятиях деревообрабатывающей промышленности», 2010 г.
- [8] Использование кабельно-мостовых кранов при строительстве в трудных природно-геодезических условиях// Борунов С.А., Девин А. Д., Тарнопольская Т.И. 18-й международный научно-промышленный форум «Великие реки» -2016. Материалы научно-методической конференции. Выпуск 5.– Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – 6с.

DESIGN OF A TROLLEY TRUSS CONSTRUCTION CABLE CRANES

Tarnopolskaya T.I., Borunov S.A., Devin A.D.

Keywords: cable cranes, cargo ropeway, cable hook overload the crane, carrying the rope, hoisting rope, a traction trolley, bending stresses.

This article describes a cable crane with a trolley truss. Calculation and selection of lifting, traction cables of the cable crane for the calculated and breaking force are carried out. The scheme of the traction trolley is developed and its dimensions are chosen.