

УДК 621.86

И.Н. Шило, д-р техн. наук, профессор, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Н.Н. Романюк, канд. техн. наук, доцент, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

В.А. Агейчик, канд. техн. наук, доцент, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА ГРУЗА

Введение

В современных условиях поточного и автоматизированного производства роль подъемно-транспортных машин качественно изменилось. Они вышли за рамки своего первоначального назначения – вспомогательного оборудования для механизации трудоемких процессов производства – и являются связующими звеньями в технологической цепи, обеспечивающими непрерывность производства, основным регулятором поточного производства, ограниченной частью технологических процессов, определяющих ритм и производительность основного оборудования предприятия. Подъемно-транспортные устройства являются основой комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. От правильного выбора наиболее рациональных машин зависит продуктивность работы всего предприятия.

Конструкция подъемно-транспортных машин непрерывно совершенствуется, в связи с чем возникают новые задачи по расчету, проектированию, исследованию и выбору их оптимальных параметров, обеспечивающих высокие технико-экономические показатели и качество машин.

Конструкция крепления каната на барабане должна быть надёжной, доступной для осмотра, удобной для замены каната и достаточно простой в изготовлении. Канат в месте крепления не должен подвергаться резкому изгибу [1]; выход из строя устройства крепления представляет собой серьёзную опасность здоровью и жизни людей, целостности поднимаемых и перемещаемых грузов. В зависимости от режима работы при машинном приводе диаметры огибаемых канатами поверхностей барабанов, блоков и других приспособлений, согласно правилам Госгортехнадзора, должны быть равны не менее 20-35 диаметров расположенного на них каната. При нарушении

этого правила прочность каната и его поведение во время эксплуатации не могут быть рассчитаны и предсказаны проектировщиком.

Канат на барабане можно крепить нажимными винтами, винтами с планками или с помощью клина.

При креплении нажимными винтами между ними и канатом устанавливают стальной или чугунный сухарь для увеличения площади соединения деталей (каната с барабаном). Профиль канавки сухаря зависит от диаметра каната и должен соответствовать профилю канавки барабана. Диаметр и число нажимных винтов зависят от диаметра каната, конструкции и назначения крана. Во избежание выкальзывания каната из узла крепления его к барабану следует ежедневно следить за данным узлом и систематически подтягивать гаечным ключом установленные винты.

Крепление каната к барабану планками также осуществляется с помощью винтов. Накладки (не менее двух) выполняют из стали Ст3, каждая имеет два желобка в нижней поверхности для закрепления двух соседних витков каната. Устанавливают их под углом 60°.

Высота планки над канатом должна быть на 2-3 мм больше диаметра устанавливаемого каната. Второе крепление также, как и первое, требует ежедневного осмотра и технического обслуживания. Длина свободного конца каната от последнего зажима на барабане при монтаже должна быть обязательно не менее двух диаметров каната. Перегибать свободный конец каната под прижимной планкой или возле нее не разрешается.

Крепление канатов с помощью клина удобнее крепления с помощью винтов и планок. Выполняется оно аналогично выше рассмотренному клиновому креплению канатов к грузозахватным устройствам. Основное достоинство такого кре-

пления к барабану: возможность быстрого монтажа и демонтажа узла.

При креплении канатов к барабану любым способом необходимо предусматривать два запасных витка, которые при эксплуатации ни в коем случае не должны сматываться с барабана. Канат не должен давить на острые края планок и реборд, т. к. при этом существует опасность его излома [2].

Целью наших исследований явилось повышение надёжности крепления конца каната к барабану механизма намотки при одновременном снижении габаритных размеров и массы барабана.

Основная часть

При креплении конца каната на барабане широко используется установленная Эйлером зависимость:

$$S_{\text{кр}} = S_{\text{MAX}} / e^{f\alpha}, \quad (1)$$

где $S_{\text{кр}}$ – натяжение каната в месте его крепления;

S_{MAX} – максимальное натяжение в канате при подъёме груза;

$f = 0,16$ – минимальный коэффициент трения между канатом и поверхностью барабана;

α – угол обхвата канатом барабана.

Согласно этому выражению, один предварительный обхватывающий барабан виток уменьшает действующее на устройство крепления каната усилие в 2,73 раза, два – в 7,46 раза и т.д.

Известны устройства крепления каната с помощью прижимной планки [3] и клина [4]. Такие устройства крепления изготавливаются с помощью сложных литейных форм, а в местах крепления канат в них подвергается недопустимым местным и изгибным деформациям, что резко снижает надёжность крепления и противоречит приведенным выше правилам. Их применяют лишь при наличии нескольких предварительно обхватывающих витков. При длительной эксплуатации нельзя гарантировать надёжность работы этих устройств; обрыв каната в них, как правило, происходит в месте его наибольшего изгиба.

Наиболее распространенным является крепление канатов на барабане накладками [4]. При этом используются 2-3 неприкосновенных витка, во много раз снижающих усилие, выдёргивающее конец каната из-под накладки. Рассчитывается одно крепление накладкой и болтом, а для страховки ставятся два. Расчеты показывают, что, например, при максимальной загрузке каната диаметром 15 мм для его удержания этим устройством крепления потребуется при винтовой навивке три неприкосновенных витка и всё устройство крепления с этими витками займет 108 мм длины барабана диаметром не менее 300 мм. Это и является его основным недостатком.

Известно крепление нажимными планками конца каната, пропущенного сквозь тело барабана и огибающего несколько раз его ступицу [3], планками с болтами к наружной поверхности тор-

цевого диска. При этом удаётся освободить ценную наружную поверхность барабана от неприкосновенных витков и накладок. Однако перенос неприкосновенных витков на ступицу хоть и даёт некоторый выигрыш в размерах и массе, но приводит к недопустимо резкому искривлению напряженного участка каната. Логичнее просто крепить конец каната к наружной поверхности диска зажимом по центру нескольких планок с двумя болтами по краям каждой из них.

Оценим такую возможность. Для этих целей возьмем канат ЛК-Р-6 19 ГОСТ 2688-80 [4] диаметром 15 мм. При среднем режиме работы его максимальное натяжение $S_{\text{MAX}} = 22812$ Н. Сила прижатия N планкой каната при имеющихся двух поверхностях трения при коэффициенте трения $f = 0,16$:

$$N = \frac{S_{\text{MAX}}}{2f}$$

Напряжение растяжения одного из двух болтов с внутренним диаметром резьбы d_1 с учётом коэффициента 1,3 влияния касательных напряжений в резьбе при затягивании болта:

$$\sigma_P = \frac{1,3N}{2\pi d_1^2 / 4} = \frac{1,3S_{\text{MAX}}}{2f 2\pi d_1^2 / 4} = \frac{1,3S_{\text{MAX}}}{f\pi d_1^2} \quad (3)$$

Напряжение изгиба одного из двух болтов при плече $l = 1,5d$ изгибающего усилия $N \times f$ и моменте сопротивления изгибу болта $0,1d^3$

$$\sigma_{\text{И}} = \frac{7,5Nf}{d_1^2} = \frac{3,75S_{\text{MAX}}}{d_1^2} \quad (4)$$

Напряжение среза одного из двух болтов

$$\tau = \frac{2Nf}{\pi d_1^2} \quad (5)$$

Подставив принятые нами числовые значения, получим для каждого из рекомендуемых для этих размеров болтов М16 напряжение растяжения 308,3 МПа, а напряжения изгиба и среза – соответственно 446,8 МПа и 38,0 МПа. Суммарное нормальное напряжение, приходящееся на один болт – 755,1 МПа. Определённое по энергетической теории прочности [5] эквивалентное нормальное напряжение равно 757,9 МПа. То есть доля касательного напряжения в нем около 0,4% и его можно в расчётах не учитывать, а из общего напряжённого состояния болта 59% приходится на изгиб. Для стали марки Ст.4 допустимое нормальное напряжение 90-100 МПа. Таким образом, прочность обеспечат 8 планок с двумя болтами каждая, но с учётом необходимого запаса прочности их должно быть 16.

Известно устройство крепления каната на барабане прижимными планками на торцевой стен-

ке [4]. В нем канат укладывается в предварительно прикреплённый к торцевой стенке кольцевой жёлоб, который имеет внутреннюю ширину значительно большую, чем диаметр каната, а высоту бортов значительно меньшую этого диаметра. Прижимные планки имеют по два болта, по одному на каждую внешнюю сторону жёлоба. Они вначале сжимают канат между их серединой и дном жёлоба, за счёт чего и осуществляется его крепление. При дальнейшем затягивании болтов планка ложится на жёсткие боковые ребра жёлоба и далее затяжка болтов будет, не усиливая зажим каната, способствовать уменьшению отрицательного влияния изгибающего болты момента, возникающего при работе устройства. При этом, чтобы болты не изгибались, сила трения планок о рёбра жёлоба должна быть гарантированно больше силы трения между канатом и планкой. Это возможно, если сила прижатия планок к рёбрам жёлоба больше силы прижатия планки к канату. Следовательно, согласно предыдущим расчётам, с учётом обычного в таких случаях коэффициента запаса 1,5 нагрузка на один болт составит 770,2 МПа. Таким образом, для крепления каната с использованием жёлоба понадобится восемь планок с двумя болтами, столько же, сколько и без использования жёлоба. Для полной безопасности крепления таких планок должно быть установлено шестнадцать. Установка жёлоба положительного результата не даёт, а лишь усложняет конструкцию.

В Белорусском государственном аграрном техническом университете запатентовано устройство крепления конца каната к барабану механизма подъема груза [6].

На рисунке 1,а показан вид торца барабана с установленным на нём устройством крепления конца каната к барабану, на рисунке 1,б – разрез А-А, на рисунке 1,в – вид сверху части подпорного кругового кольца.

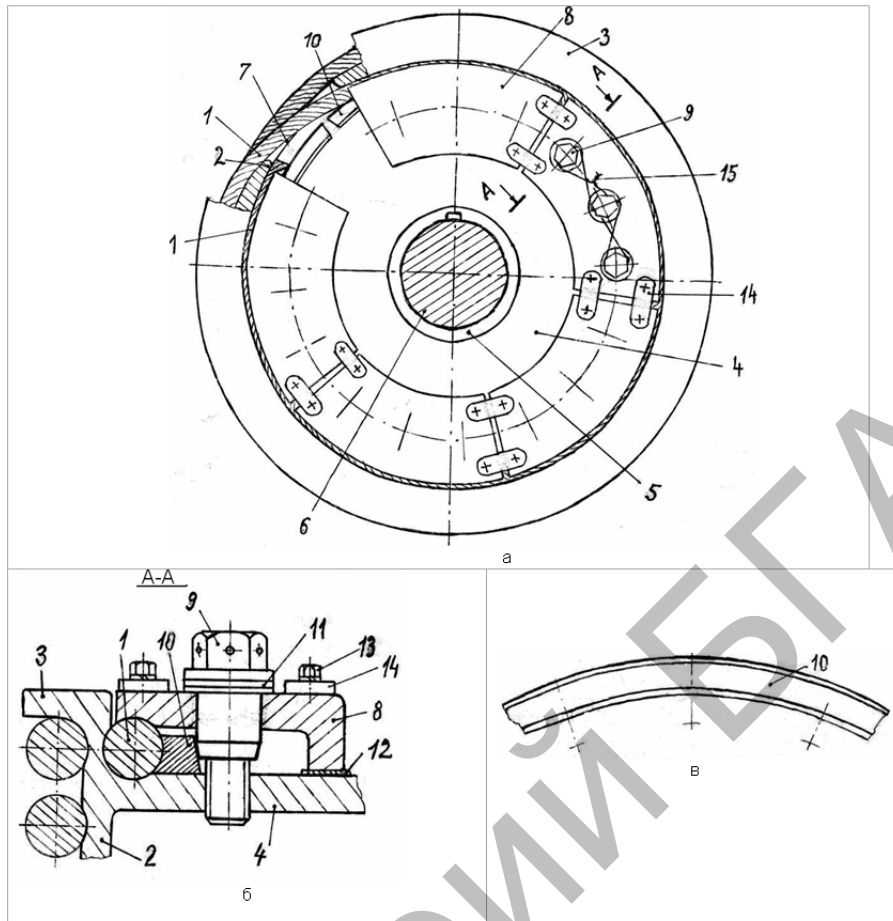
Барабан с устройством крепления конца каната при одинарном полиспасте содержит конец каната 1, барабан 2 в виде тонкостенного цилиндра с наружными направляющими бортами 3 и утопленными внутрь его боковыми дисками 4, один из которых выполнен с резьбовыми отверстиями, и со ступицами 5, установленными на вале 6 приводного механизма. Барабан 2 имеет в своей цилиндрической части на уровне наружной поверхности бокового диска 4 с резьбовыми отверстиями отверстие 7, для запасовки конца каната 1 под тонкостенный цилиндр к наружной поверхности этого бокового диска 4, и прижимающие к боковому диску 4 конец каната 1 прижимные планки 8, выполненные в виде равных частей кругового кольца с внутренним опорным ребром и с цилиндрическими отверстиями. В цилиндрические отверстия планок 8 вставляются болты 9, ввинчивающиеся в наружную поверхность бокового диска 4, имеющие сопрягающуюся с отверстием прижимной планки

8 цилиндрическую и боковую коническую поверхности. В головках болтов 9 имеются отверстия для крепёжной проволоки. Под прижимными планками 8 расположено между их наружными кольцевыми кромками и болтами 9 подобно планкам 8 с возможностью упора в конец каната 1 подпорное круговое кольцо 10, выполненное из двух равных полуколец со скошенными внутрь торцами и с конической внутренней поверхностью, прилегающей к боковым коническим поверхностям болтов 9. К стыку внутренней цилиндрической поверхности барабана 2 и наружной боковой поверхности диска 4 укладывают конец каната 1, прижимаемый к наружной поверхности диска прижимными планками 8, а к внутренней цилиндрической поверхности барабана 2 установленным под планками 8 упирающимся в канат и конические поверхности болтов 9 подпорным круговым кольцом 10, состоящим из двух равных полукруговых колец с внутренней конической поверхностью, прилегающей к боковым коническим поверхностям болтов 9. Соприкасающиеся с концом каната 1 поверхности стыка цилиндрической внутренней поверхности барабана 2 и бокового диска 4, а также подпорного кругового кольца 10 могут иметь канавки по форме контактирующей поверхности конца каната 1, а контактирующая с концом каната 1 часть прижимных планок 8 имеет такие канавки в обязательном порядке. Под головками болтов 9 установлены по форме опорной части их головок регулировочные кольца 11. В случае необходимости под рёбра некоторых или всех прижимных планок 8 могут устанавливаться тонкие регулировочные пластинки 12. Прижимные планки 8 в виде равновеликих частей кругового кольца соединены между собой с помощью вкрученных в них винтов 13 жесткими перемычками 14. Болты 9 фиксируются между собой от выкручивания проволокой 15.

Барабан механизма подъема груза с устройством для крепления конца каната работает следующим образом.

Конец каната 1 укладывается к стыку цилиндрической внутренней поверхности барабана 2 и наружной боковой поверхности диска 4 на максимально возможную длину. Установка крепления начинается с конца каната, причём первая прижимная планка 8 после установки подпорного кругового полукольца 10 с применением регулировочных колец 12 прижимается к концу каната 1, который периодически натягивается, болтами 9.

При этом, с помощью регулировочных пластинок 12 и колец 11 и точного расположения резьбовых отверстий в боковых дисках 4 добиваются равновеликого и равномерного прижатия конца каната 1 как прижимной планкой 8, так и подпорным круговым полукольцом 10, а также плотного прилегания к цилиндрической внутренней поверхности отверстий прижимной планки 8 цилиндрической наружной поверхности болтов 9, особенно в первую очередь со стороны центра бокового дис-



а – вид торца барабана с установленным на нём устройством крепления конца каната к барабану

б – разрез А-А; в – вид сверху части подпорного кругового кольца

Рис. 1 – Устройство крепления конца каната к барабану механизма подъема груза

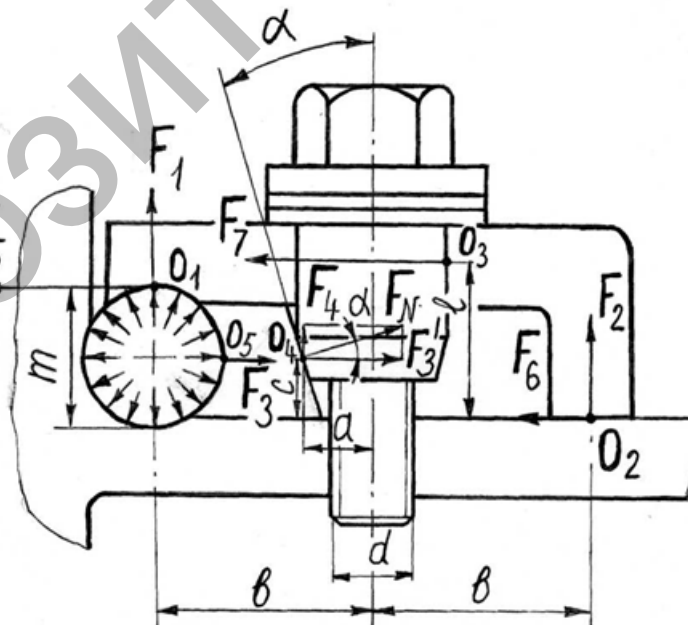


Рис. 2 – Расчётная схема устройства крепления конца каната к барабану

ка 4 и во вторую очередь стороны обратной концу каната.

После установки первой с конца каната 1 прижимной планки последовательно тщательно устанавливаются аналогичным образом другие прижимные планки 8. В представленном нами варианте конкретного исполнения устройства имеются пять прижимных планок 8 с тремя болтами 9 в каждой из них. Скошенные внутренние торцы подпорных круговых полуколец 10 способствуют их беспрепятственному монтажу. После установки всех прижимных планок 8 они соединяются между собой вкрученными в них винтами 13 жёсткими перемычками 14. Это обеспечит более равномерное распределение нагрузки между деталями устройства во время его работы. Фиксация болтов 9 проволокой 15 обеспечит надёжную работу устройства для крепления конца каната в течение длительного времени.

На рисунке 2 показана расчётная схема устройства крепления конца каната к барабану, где видно, что при приложении к канату рабочей нагрузки на прижимную планку 8 как реакции со стороны конца каната 1 и поверхности барабана 2 действуют силы F_1 и F_2 , которые в силу равенства их плеч относительно оси болта 9 равны между собой.

Со стороны конца каната 1 на подпорное круговое полукольцо 10 действует равная по условию равномерности сжатия каната 1 этим силам сила F_3 . Эта сила далее передается на коническую поверхность болта 9, где вызывает силу $F_4 = F \operatorname{tg} \alpha$, где α – угол между образующей конической поверхности и его осью, равный в нашем исполнении 20° , т. е. $F_4 = 0,36 F_1$. Таким образом, болт 9 растягивается суммарной силой $F_2 = F_1 + F_2 + F_4 = 2,36 F_1$. В плоскости рисунка на болт 9 действует изгибающий момент $[(F_3 - F_4) f] + F_4 a$, который блокируется значительно превышающим его возможным значением момента со стороны плотно прилегающей внутренней цилиндрической поверхности отверстия прижимной планки 8 силы $F_7 = F_5 + F_6$ на плече l , где сила трения ребра $F_6 = F_2 f$, а сила сцепления F_5 значительно больше $F_1 f$ из-за профильной нижней кромки прижимной планки 8. В плоскости перпендикулярной чертежу на прижимную планку 8 со стороны конца каната 1 действует сила $F_1 f$, изгибающее воздействие которой на болт 9 блокируется жёсткой конструкцией как самой прижимной планки 8 с ребром жёсткости, так и всей сочленённой конструкции устройства в целом. Непосредственно на болт в этой плоскости передаётся момент $(F_3 - F_4) f / \cos \alpha$, но в силу плотного прилегания внутренней цилиндрической поверхности отверстия прижимной планки 8 с цилиндрической поверхностью болта 9 со стороны обратной концу каната 1 он блокируется аналогичным предыдущему образом. Т.к. напряжения среза не оказывают практического влияния на работу болта 9, на него оказывает воздействие лишь растягивающее усилие $2,36 F_1$.

В устройстве крепления конца каната к барабану два подпорных круговых полукольца 10 выполняют также функцию опорной обхватываемой концом каната 1 поверхности барабана (формула 1). С учётом конкретного угла обхвата по формуле (1) определяем, что за счёт этого эффекта выдерживающее усилие уменьшится в 2,5 раза с $S_{MAX1} = 22812$ Н до $S_{MAX2} = 9127$ Н. Ввиду наличия четырёх поверхностей трения сила прижатия конца каната 1 равна

$$F_1 = \frac{S_{MAX2}}{4f} \quad (6)$$

С учётом коэффициента 1,3, учитывающего трение в витках резьбы при закручивании болта 9,

$$\sigma_p = \frac{1,3 F_2}{\pi l_1^2 / 4} = \frac{1,3 \times 2,36 F_1}{\pi l_1^2 / 4} = \frac{1,3 \times 2,36 S_{MAX2}}{f \pi l_1^2} \quad (7)$$

Для М16 получаем растягивающее нормальное напряжение 291,0 МПа. Его выдержат три болта нашей конструкции, что в 5,3 раза меньше, чем у конструкции с жёлобом или без него. Использование 15-ти болтов даёт пятикратную гарантию надёжности крепления вместо требуемой двойной.

Заключение

1. Разработано оригинальное устройство крепления конца каната к барабану механизма подъёма груза и дана методика его расчета.
2. Использование запатентованного устройства позволит получить целый ряд преимуществ по сравнению с аналогами: отсутствие недопустимых изгибов каната; наличие эффекта одного неприкосновенного витка; увеличение прижимаемых поверхностей каната до четырёх вместо двух; работа прижимных болтов только на растяжение; повышение в 5,3 раза надёжности крепления при одновременном уменьшении размеров и массы; компактность и эстетичность конструкции.

Библиографический список

1. Александров, М. П. Подъёмно-транспортные машины / М. П. Александров. – М. : Высш. шк., 1985. – С.128.
2. Справочник по кранам / Под общ. редакцией А. И. Дукельского. М. : Машиностроение, 1973. – Т. 2. – С.266.
3. Кифер, Л. Г. Грузоподъёмные машины / Л. Г. Кифер, И. И. Абрамович. М. : Машгиз, 1956. – Ч.1. – С.47.
4. Справочник по кранам / М.П. Александров [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – Т.2. – С.264–265.
5. Феодосьев, В. И. Соппротивление материалов / В.И. Феодосьев М. : Высш. шк., 2001. – С.124.
6. Барабан с устройством для крепления конца каната: пат. 12280 С1. Респ. Беларусь, МПК В 66 D 1/28 / Шило И.Н.[и др.], заявитель Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – № а 20070121. заяв. 06. 02. 07; опубл.30.08.09// Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009, №4.– С.97-98.