

УДК 621.86.078

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ НАТЯЖЕНИЯ КАНАТА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

М.М. Шамсутдинов, С.Г. Степанов

Рассмотрены варианты модернизации конструкции устройства контроля натяжения тягового каната. Модернизация предусматривает учет работы шахтных подъемных установок в аварийных режимах.

Ключевые слова: уравнение натяжения каната; наименьшее значение натяжения каната; устройство контроля натяжения каната; модернизация конструкции; эксплуатационная надежность.

MODERNIZATION OF THE ROPE TENSION CONTROL DEVICE OF THE SHAFT ELEVATOR INSTALLATION

M.M. Shamsutdinov, S.G. Stepanov

The article describes the variants for the modernization construction of the traction rope tension control device. The modernization work includes the integration of the shaft elevator installations in emergency operation.

Keywords: rope tension equation; the lowest value of the rope tension; rope tension control device; modernization of construction; operational reliability.

В статье рассмотрены варианты улучшения конструкции устройства контроля натяжения каната на примере скиповой подъемной установки. Такие устройства необходимо проектировать исходя из условий работы шахтной подъемной установки в аварийных режимах. В проектировании учитывается натяжение каната, определяемое посредством расчетных формул для двух основных движений скипа в стволе шахты – подъем груженого скипа и спуск порожнего.

Общее уравнение натяжения каната в точке подвески подъемного сосуда в случае подъема скипа с грузом имеет вид [1]:

$$S = \beta_{\text{тр}} Q_{\text{п}} + \beta_{\text{ск}} Q_{\text{п}} + (1 - \gamma_{\text{ск}}) G_{\text{ск}} \pm a/g [\beta_{\text{ск}} Q_{\text{п}} + (1 - \gamma_{\text{ск}}) G_{\text{ск}}] = \\ = k_{\text{тр}} Q_{\text{п}} - \beta_{\text{ск}} Q_{\text{п}} + (1 - \gamma_{\text{ск}}) G_{\text{ск}} \pm a/g [\beta_{\text{ск}} Q_{\text{п}} + (1 - \gamma_{\text{ск}}) G_{\text{ск}}],$$

где $k_{\text{тр}}$ – коэффициент шахтных сопротивлений груженой ветви каната, $k_{\text{тр}} = 1 + \beta_{\text{тр}}$; $\beta_{\text{тр}}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение веса полезного груза; $\gamma_{\text{ск}}$ – коэффициент статической неуравновешенности мертвых весов сосудов; $Q_{\text{п}}$ – вес полезного груза, т; $G_{\text{ск}}$ – собственный вес скипа, т; a – ускорение (замедление) подъемной машины, м/с²; g – ускорение свободного падения, м/с².

При ускорении груженого скипа при отходе от дозаторной (пункта загрузки) натяжение каната составит:

$$S_0 = \beta_{\text{тр}} Q_{\text{п}} + (Q_{\text{п}} + G_{\text{ск}}) \pm 0,03(Q_{\text{п}} + G_{\text{ск}}) = \beta_{\text{тр}} Q_{\text{п}} + 1,03(Q_{\text{п}} + G_{\text{ск}}).$$

Обозначив $Q_0 = (Q_{\text{п}} + G_{\text{ск}})$ и выражая Q_0 через $Q_{\text{п}}$ ($Q_0 \beta_{\text{тр}}^{k_{\text{тр}}} = Q_0 \beta_{\text{тр}} Q_{\text{п}} / Q_0$), получим:

$$S_0 = Q_0 (\beta_{\text{тр}}^{k_{\text{тр}}} + 1,03).$$

При ускорении скипа в стволе шахты:

$$S_1 = \beta_{\text{тр}} Q_{\text{п}} + 1,102(Q_{\text{п}} + G_{\text{ск}}) = Q_0 (\beta_{\text{тр}}^{k_{\text{тр}}} + 1,102);$$

Для периода равномерного движения скипа:

$$S_2 = 1,05 Q_0.$$

При замедлении скипа в стволе шахты:

$$S_3 = \beta_{\text{ГР}} Q_{\text{П}} + (Q_{\text{П}} + G_{\text{СК}}) - 1,102(Q_{\text{П}} + G_{\text{СК}}) = Q_0(\beta_{\text{ГР}} k_{\text{К}} + 0,898).$$

При замедлении скипа в разгрузочных кривых копра шахты

$$S_a = \beta_{\text{ГР}} Q_{\text{П}} + \beta_{\text{СК}} Q_{\text{П}} + (1 + \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}} \pm a/g [\beta_{\text{СК}} Q_{\text{П}} + (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}}] =$$

$$= 1,03 [\beta_{\text{СК}} Q_{\text{П}} + (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}}] + \beta_{\text{ГР}} Q_{\text{П}} = \beta_{\text{ГР}} Q_{\text{П}} + 1,03 [\beta_{\text{СК}} Q_{\text{П}} + (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}}] =$$

$$= Q_0 [1,03 k_{\text{К}} \beta_{\text{СК}} + 1,03 k_{\text{С}} (1 - \gamma_{\text{СК}}) + \beta_{\text{ГР}} k_{\text{К}}].$$

Таким образом, при подъеме груженого скипа получены следующие зависимости:

$$S_0 = Q_0(\beta_{\text{ГР}} k_{\text{К}} + 1,03); \quad S_1 = Q_0(\beta_{\text{ГР}} k_{\text{К}} + 1,102);$$

$$S_2 = 1,05 Q_0; \quad S_3 = Q_0(\beta_{\text{ГР}} k_{\text{К}} + 0,898);$$

$$S_a = Q_0 [1,03 k_{\text{К}} \beta_{\text{СК}} + 1,03 k_{\text{С}} (1 - \gamma_{\text{СК}}) + \beta_{\text{ГР}} k_{\text{К}}].$$

Общее уравнение натяжения каната в точке его подвески при спуске порожнего скипа имеет вид:

$$S_1 = \beta_{\text{П}} Q_{\text{П}} + (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}} \pm a/g (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}}.$$

Движение в разгрузочных кривых:

$$S_0 = \beta_{\text{П}} Q_{\text{П}} + (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}} - a/g (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}} =$$

$$= \beta_{\text{П}} Q_{\text{П}} + (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}} - 0,03 (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}} = \beta_{\text{П}} Q_{\text{П}} + (1 - \gamma_{\text{СК}}) G_{\text{СК}} (1 - 0,03) =$$

$$= Q_0 [\beta_{\text{П}} k_{\text{К}} + 0,97 k_{\text{С}} (1 - \gamma_{\text{СК}})] = Q_0 [0,06 \cdot 0,5 + 0,97 (1 - 0,8) \cdot 0,52] = 0,13 Q_0.$$

Ускорение скипа в стволе шахты:

$$S_1 = \beta_{\text{П}} Q_{\text{П}} + 1,102 G_{\text{СК}} + G_{\text{СК}} = Q_0 (\beta_{\text{П}} k_{\text{К}} + 2,102 k_{\text{С}}) = 1,12 Q_0.$$

Период равномерного хода скипа:

$$S_2 = \beta_{\text{П}} Q_{\text{П}} + G_{\text{СК}} = Q_0 (\beta_{\text{П}} k_{\text{К}} + k_{\text{С}}) = Q_0 (0,03 \cdot 0,5 + 0,52) = 0,535 Q_0.$$

Замедление скипа в стволе шахты:

$$S_3 = \beta_{\text{П}} Q_{\text{П}} + G_{\text{СК}} + 0,102 G_{\text{СК}} = Q_0 (\beta_{\text{П}} k_{\text{К}} + 1,102 k_{\text{С}}) =$$

$$= Q_0 (0,06 \cdot 0,5 + 1,102 \cdot 0,52) = 0,603 Q_0.$$

Таким образом, при движении порожнего скипа вниз получены следующие выражения значения натяжения каната:

$$S_0 = 0,13 Q_0; \quad S_1 = 1,12 Q_0; \quad S_2 = 0,535 Q_0; \quad S_3 = 0,603 Q_0.$$

Анализируя результаты оценки натяжения каната в месте подвески подъемного сосуда, следует отметить, что наименьшее значение S каната имеет место при движении скипа вниз в разгрузочных кривых. Статическое натяжение каната составляет $0,13 Q_0$. Полученный параметр необходимо учитывать при расчете датчика устройства контроля натяжения каната.

В работе [2] приведена схема устройства контроля натяжения каната (А.с. СССР 889587), в конструкции которого применен принцип действия рессоры. Это устройство реализовано в производстве – в аппаратуре контроля напуска каната “Сигнал-16”. Достоинства устройства заключаются в простоте конструкции с небольшими габаритами и высоким быстродействии датчика контроля, рассчитанного с учетом приведенного выше параметра S . На рисунке 1 показана принципиальная схема устройства.

Недостаток устройства в том, что при эксплуатации не осуществляется контроль работы рессоры, что может привести к потере отслеживания изменений в натяжении каната при его ослаблении и перегрузке в случае заклинивания рессоры в направляющей устройства. Вероятность заклинивания обусловлена силовым воздействием на рессору со стороны каната. При неподвижной заклиненной рессоре невозможно контролировать натяжение каната, что может привести к его обрыву при перегрузке и ослаблении. Кроме этого, при перегрузке каната его силовое воздействие на рессору возрастает, из-за чего вероятно разрушение заклинившей рессоры.

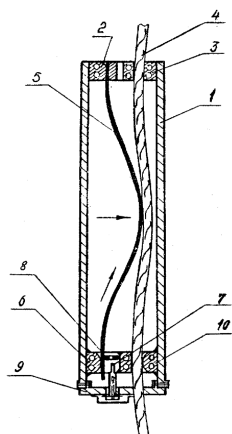


Рисунок 1 – Устройство для контроля натяжения канатов

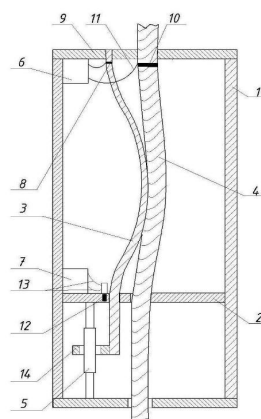


Рисунок 2 – Вертикальный разрез, устройство в рабочем состоянии

В устройстве для контроля натяжения каната [3] предложен вариант реализации отслеживания работы рессоры. Принципиальная схема устройства показана на рисунке 2, где представлен вертикальный разрез, устройство в рабочем состоянии, и на рисунке 3 – устройство в аварийном состоянии (ослабление каната при заклиненной рессоре).

Устройство включает корпус 1, размещенные в нем направляющую 2, рессору 3, одним концом жестко прикрепленную к корпусу 1, а другим концом подвижно установленную в направляющей 2 и контактирующую с канатом 4. Корпус 1 закреплен верхней частью на канате 4. Внутри корпуса 1 установлены магнитоуправляемый датчик 5 контроля натяжения каната 4, сигнализатор 6 ослабления каната 4, сигнализатор 7 перегрузки каната 4. На рессоре 3 закреплено кольцо 8, соединенное электропроводом 9 с сигнализатором 6. На канате 4 закреплено кольцо 10, соединенное электропроводом 11 с сигнализатором 6. В направляющей 2 установлен датчик 12 усилия, соединенный проводом 13 с сигнализатором 7. На подвижном конце рессоры 3 закреплен магнит 14 с возможностью перемещения вдоль датчика 5. Рессора 3 установлена с предварительной деформацией, позволяющей ей находиться в постоянном контакте с канатом 4 (“опирается” на него), что обеспечивает работоспособность устройства. Рессора 3 и канат 4 электроизолированы от корпуса 1. Магнитоуправляемый датчик 5, сигнализаторы 6 и 7 электрически связаны с системой аварийного торможения барабана подъемной машины.

Недостатком предложенного устройства является вероятность заклинивания рессоры в направляющей при силовом воздействии на рессору со стороны тягового каната.

В устройстве для контроля натяжения тягового каната [4] предложен вариант исключения вероятности заклинивания рессоры в направляющей при силовом воздействии на нее со стороны каната. Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 4 – вертикальный разрез, а на рисунке 5 – вариант выполнения направляющей с установленными в ней роликами.

Устройство включает корпус 1, размещенную в нем направляющую 2, стержень 3, подвижно установленный в направляющей 2, рессору 4, одним концом шарнирно прикрепленную к корпусу 1, а другим концом шарнирно соединенную со стержнем 3. Корпус 1 закреплен верхней частью на канате 5. Внутри корпуса 1 установлены магнитоуправляемый датчик 6 контроля натяжения каната 5, сигнализатор 7 ослабления каната 5, сигнализатор 8 перегрузки каната 5. На рессоре 4 закреплено кольцо 9, соединенное электропроводом 10 с сигнализатором 7. На канате 5 закреплено кольцо 11, соединенное электропроводом 12 с сигнализатором 7. В направляющей 2 установлен датчик 13 усилия, соединенный проводом 14 с сигнализатором 8. На конце стержня 3 закреплен магнит 15 с возможностью перемещения вдоль датчика 6. Рессора 4 установлена с предварительной деформацией, позволяющей находиться в постоянном контакте с канатом 5 (“опирается” на него), что обеспечивает работоспособность устройства. Рессора 4 и канат 5 электроизолированы от корпуса 1. Магнитоуправляемый датчик 6, сигнализаторы 7 и 8 электрически связаны с системой аварийного торможения барабана подъемной машины. По второму варианту выполнения устройства (рисунок 4) в направляющей 2 установлены ролики 16, между которыми размещен стержень 3.

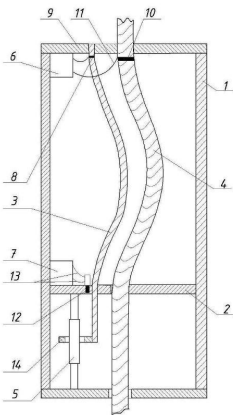


Рисунок 3 – Устройство в аварийном состоянии

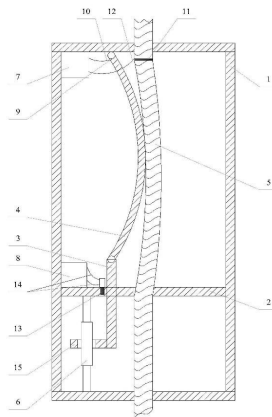


Рисунок 4 – Вертикальный разрез

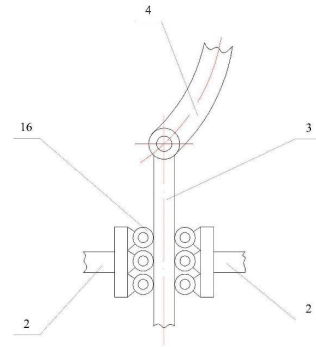


Рисунок 5 – Направляющая с установленными в ней роликами

Принципиальное отличие рассматриваемого устройства [4] от приведенного выше [3], в следующем. Шарнирное соединение верхнего конца стержня 3 с концом рессоры 4 и шарнирное соединение другого конца рессоры 4 с корпусом 1 позволяет снизить вероятность заклинивания стержня 3 в направляющей 2 за счет уменьшения величины изгибающего момента (образуемого усилием от рессоры), действующего на стержень 3 в месте его установки в направляющей 2. Величина изгибающего момента уменьшается посредством шарнирного соединения верхнего конца стержня 3 с концом рессоры 4. Кроме этого, за счет шарнирного соединения конца рессоры 4 с корпусом 1 исключается изгибающий момент, что снижает вероятность разрушения рессоры в месте крепления.

Снабжение устройства роликами 16, установленными в направляющей 2, снижает вероятность заклинивания стержня 3 в направляющей 2. При качении стержня 3 по роликам 16 сопротивление движению стержня 3 меньше, чем при “проталкивании” рессоры 4 по рабочим поверхностям направляющей 2, что позволяет снизить вероятность заклинивания стержня 3.

Использование предложенных устройств контроля натяжения каната, позволит повысить эксплуатационную надежность подъемных установок шахт, рудников, лифтов за счет снижения вероятности отказа конструкций в работе.

Литература

1. Шамсутдинов М.М. Комплексная система оценки элементов механического оборудования шахтного подъема: автореф. ... дис. ... д-ра техн. наук / М.М. Шамсутдинов. Бишкек, 2007.
2. Шамсутдинов М.М. Комплексная система контроля и защиты шахтных подъемных установок от аварий / М.М. Шамсутдинов // В кн. Научно-инновационная деятельность КРСУ. Естественно-технический факультет. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011.
3. Патент КГ № 1608. Устройство для контроля натяжения каната. 2014
4. Патент КГ № 1739. Устройство для контроля натяжения тягового каната. 2015.