Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIX, вып. 1, 1959 г.

ПРИМЕНЕНИЕ КАНАТНЫХ КОВШОВЫХ ЭЛЕВАТОРОВ ДЛЯ ШАХТНОГО ПОДЪЕМА

А. М. Факторович

Транспортирование полезных ископаемых по вертикальным шахтным стволам осуществляется в основном скиповым подъемом. Этот вид подъема, являясь транспортной установкой прерывного действия, обладает рядом недостатков. Основные из них следующие:

1) необходимость сооружения промежуточных емкостей (перегрузочных бункеров) в околоствольном дворе и на поверхности, предназначаемых для смягчения неравномерности работы подъема и транспорта на поверхности;

2) сложность полной автоматизации процесса подъема вследствие необходимости непрерывного изменения режима работы двигателя;

3) большой удельный расход энергии и повышенная установленная мощность двигателя, вызываемые включением пусковых реостатов и наличием пиковых нагрузок при каждом цикле подъема.

Эти недостатки приобретают в настоящее время особенно существенное значение в связи с тем, что одним из прогрессивных направлений в развитии механизации рудничного транспорта, главным образом на угольных шахтах, является полная конвейеризация транспорта от забоя до погрузочных пунктов на поверхности. Однако полная конвейеризация встречает значительные затруднения, так как для одного звена транспортной схемы — по стволам вертикальных шахт — пока не разработано достаточно надежного и экономичного способа транспорта непрерывного действия.

В то же время современная подъемно-транспортная техника располагает видами оборудования, по принципу действия свободными от этих недостатков. К числу их относятся транспортные установки непрерывного действия ковшового типа, в частности ковшовые элеваторы. Для шахтного подъема представляют значительный интерес канатные элеваторы.

Применение канатного тягового органа имеет ряд преимуществ по сравнению с цепным: меньший в 6—8 раз вес, меньшую стоимость, бóльшую надежность в работе и прочность. Вследствие этого тяговый орган пригоден для подъема на большую глубину при одноприводной установке.

Основными достоинствами канатного тягового органа по сравнению с ленточным являются большая износоустойчивость, прочность и меньшая стоимость.

К недостаткам одноканатных элеваторов относится сложность конструкции приводного шкива и в связи с этим относительно небольшая надежность его работы. У двухканатных элеваторов, кроме того, сложна регулировка тягового органа вследствие неравномерного вытягивания канатов. Этот недостаток может быть в значительной степени устранен путем предварительной вытяжки канатов. Для устранения же первого из указанных недостатков необходимо найти достаточно надежное решение вопроса о пропуске зажимных муфт через приводной и натяжной шкивы.

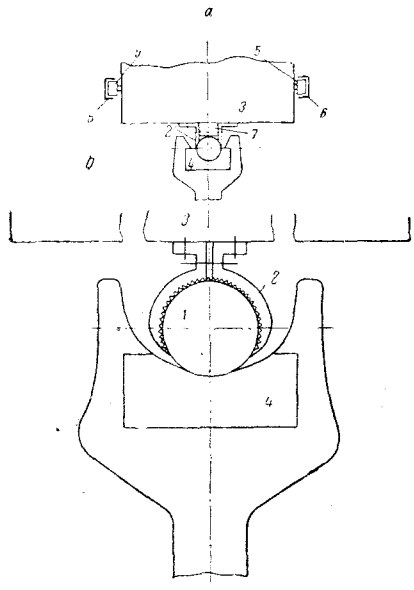


Рис. 1. Схемы крепления ковшей элеватора к тяговому канату:
1 — тяговый канат; *2* — крепежный хомут; *3* — ковш элеватора; *4* — приводной шкив; *5* — ролики; *6* — направляющие; *7* — эластичная подушка

В промышленности применяется несколько типов блоков для канатов с зажимными муфтами [1]. Наиболее простой и часто применяемой конструкцией является жесткий блок с гнездами для пропуска муфт. Однако приводной блок имеет ряд основных недостатков: 1) необходимость частой перестановки зажимных муфт, так как они выходят из зацепления с блоком при увеличении их шага вследствие вытяжки каната; 2) тяговая сила на канат передается в каждый данный момент только при помощи одной муфты, что ненадежно при больших передаваемых усилиях.

Эти недостатки устранены, например, в конструкции блока с автоматическим саморегулированием шага на блоке и распределением окружного усилия на несколько муфт, находящихся в зацеплении. Однако эти муфты отличаются сложной конструкцией, имеют несколько пружин и будут недостаточно надежны в работе в тяжелых условиях шахтного подъема.

Почти во всех применяемых устройствах поставленная задача решается путем создания специальной конструкции канатного блока. Однако возможен и другой, по-видимому, более простой путь решения — создание специальной конструкции зажимной муфты, при которой может быть использован приводной шкив обычной конструкции. С этой точки зрения представляет интерес конструкция зажимной муфты, предложенная А. М. Пеньковым и М. С. Кровелецом [2]. Зажимная муфта представляет собой стальную гильзу, опрессованную на канате, которая является базой для крепления рабочего органа. Для сцепления каната с приводным шкивом на гильзе укрепляются сухари клиновидного сечения. Соответственно профилю сухаря выполнен желоб приводного шкива. Сцепление каната с приводным шкивом осуществляется за счет заклинивания сухарей в желобе шкива, аналогично тому, как это имеет место в клино-ременных передачах.

В качестве другой конструкции крепления ковшей к канату, выполненной по тому же принципу, может быть предложено устройство (рис. 1, *а*), где хомут из листовой высококачественной стали заподлицо впрессовывается в канат. Связанное с этим некоторое ослабление прочности каната может быть соответственно компенсировано применением каната с большим запасом прочности.

Более надежной является конструкция, при которой тяговое усилие от приводного шкива не передается на крепление ковша с канатом, а воспринимается непосредственно канатом (рис. 1, *б*). В этом случае передаваемая нагрузка на крепление резко уменьшается и равна лишь весу ковша с грузом. Конструкция крепления состоит из хомута, изготовленного из высококачественной стали, который охватывает примерно $^2/_3$ окружности тягового каната. Чтобы лучше центрировать ход каната по желобу приводного шкива, зазор в направляющих должен допускать минимальное отклонение ковша на этом участке пути.

Наиболее просто решается вопрос крепления ковшей при применении плоских канатов. Крепление ковшей к канату может быть осуществлено аналогично креплению ковшей к прорезиненной ленте. Отечественной промышленностью изготовляются плоские металлические канаты (ГОСТ 3092—55), вполне удовлетворяющие требуемым условиям.

Для увеличения коэффициента сцепления между приводным шкивом и канатом целесообразно применить электромагнитный способ сцепления.

Для обоих типов элеваторов (одно- и двухканатных) предусматривается установка в стволе направляющих для ковшей, а для одноканатных дополнительно — направляющих лап с роликами, воспринимающих боковое давление ковшей.

Чтобы установить границы технической возможности применения канатных элеваторов для подъема по стволам вертикальных шахт, найдем выражение для определения высоты подъема в зависимости от прочности тягового органа, производительности и силы сцепления между канатом и приводным шкивом.

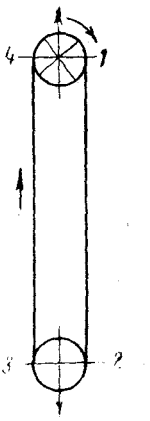


Рис. 2. Расчетная схема ковшового элеватора

Для схемы установки, представленной на рис. 2:

$$S_{max} = S_4; \tag{1}$$

$$S_{min} = S_2 = S_1 + W_x = S_1 - q_0 H, \tag{2}$$

где S_{max} и S_{min} — соответственно максимальное и минимальное натяжения тягового органа, *кг*;

S_1, S_2, S_3 и S_4 — соответственно натяжения тягового органа в точках *1*, *2*, *3* и *4*, *кг*;

W_x — сопротивление движению холостой ветви тягового органа, *кг*;

q_0 — погонный вес тягового органа с ковшами, *кг/м*;

H — вертикальная высота подъема, *м*.

Минимальное натяжение тягового органа должно иметь положительную величину, а для этого на основании выражения (2) необходимо, чтобы

$$S_1' = k_з' q_0 H, \tag{3}$$

где $k_з'$ — коэффициент, учитывающий запас по условию минимального натяжения.

С другой стороны, из условия непроскальзывания каната по приводному шкиву

$$S_1'' = \frac{k_з'' S_4}{e^{\mu\alpha}}, \tag{4}$$

где $k_з''$ — коэффициент, учитывающий запас по условию непроскальзывания каната;

e — основание натуральных логарифмов;

μ — коэффициент сцепления лежду канатом и приводным шкивом;

α — угол обхвата лентой приводного барабана, *рад.*

В зависимости от конкретных значений величин, входящих в формулы (3) и (4), S_1' может быть равно, меньше или больше S_4''.

Натяжения тягового органа в точке 4 (рис. 2)

$$S_4 = S_{max} = K_ш (S_1 - q_0 H) + (q_0 + q) H, \tag{5}$$

где $K_ш$ — коэффициент, учитывающий сопротивление хвостового шкива;

q — погонный вес полезного груза, *кг/м.*

При $S_1 = S_1'$

$$S_4' = \{q_0 [1 + k_ш (k_з' - 1)] + q\} H \tag{6}$$

При $S_1 = S_1''$

$$S_4'' = \frac{[q_0 (1 - k_ш) + q] H}{1 - \frac{k_з'' k_ш}{e^{\mu\alpha}}}. \tag{7}$$

Погонный вес полезного груза

$$q = \frac{Q}{3{,}6v}, \tag{8}$$

где Q — производительность подъемной установки, *т/час*;

v — скорость движения ковшей, *м/сек.*

Погонный вес тягового органа с ковшами

$$q_0 = n_к p + q_к = n_к p + k_т q = n_к p + k_т \frac{Q}{3{,}6v}, \tag{9}$$

где $n_к$ — число канатов на ветви;

p — вес 1 *пог. м* каната, *кг/м*;

$q_к$ — вес ковшей, приходящийся на 1 *пог. м* длины тягового органа установки, *кг/м*;

$k_т$ — коэффициент тары ковшей.

Подставив в уравнение (6) и (7) вместо q и q_0 их значения, согласно формулам (8) и (9), получим соответственно:

$$S_4' = \left\{\left(n_к p + \frac{k_т Q}{3{,}6v}\right)[1 + k_ш (k_з' - 1)] + \frac{Q}{3{,}6v}\right\} H; \tag{10}$$

$$S_4'' = \frac{\left[\left(n_к p + \frac{k_т Q}{3{,}6v}\right)(1 - k_ш) + \frac{Q}{3{,}6v}\right] e^{\mu\alpha} H}{e^{\mu\alpha} - k_з'' k_ш}. \tag{11}$$

Допустимое максимальное натяжение тягового органа по условию его прочности

$$S_{max} = S_4 = n_к \frac{k_в R}{m}, \tag{12}$$

где $k_н$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки на канаты;

R — разрывное усилие каната, *кг*

m — запас прочности каната.

Подставив в уравнения (10) и (11) вместо S_4' и S_4'' их значения, согласно формуле (12), и решив уравнение относительно величины H, получим соответственно:

$$H' = \frac{Rn_к k_н}{m\left\{\left(n_к p + \frac{k_т Q}{3{,}6v}\right)[1 + k_ш(k_з' - 1)] + \frac{Q}{3{,}6v}\right\}}; \tag{13}$$

$$H'' = \frac{Rn_к k_н (e^{\mu\alpha} - k_з'' k_ш)}{me^{\mu\alpha}\left[\left(n_к p + \frac{k_т Q}{3{,}6v}\right)(1 - k_ш) + \frac{Q}{3{,}6v}\right]}. \tag{14}$$

Очевидно, наименьшее значение высоты подъема, полученное по формулам (13) и (14), будет удовлетворять условию положительной величины натяжения в точке *2* (см. рис. 2) и условию непроскальзывания каната по приводному шкиву.

Найдем условия, при которых $H' = H''$. Для этого приравняем выражения (6) и (7). Тогда

$$q_0[1 + k_ш(k_з' - 1)] + q = \frac{[q_0(1 - k_ш) + q]e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\alpha} - k_з'' k_ш}. \tag{15}$$

Решим уравнение (15) относительно величины $\frac{q_0}{q}$ и после преобразований получим

$$\frac{q_0}{q} = \frac{1}{\frac{k_з'}{k_з''}e^{\mu\alpha} + k_ш(1 - k_з') - 1}. \tag{16}$$

Подставив в уравнение (16) вместо q_0 его значение по формуле (9), получим

$$\frac{n_к p}{q} = \frac{1}{\frac{k_з'}{k_з''}e^{\mu\alpha} + k_ш(1 - k_з') - 1} - k_т. \tag{17}$$

Выражение (17) может быть упрощено (подстановкой средних значений величин) со степенью точности, достаточной для данного исследования. Принимаем: $\kappa_ш = 1{,}05$; $\kappa_з' = 1{,}1$; $\kappa_з'' = 1{,}1$. После преобразований формула (17) получит вид

$$\frac{n_к p}{q} = \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1{,}1} - k_т. \tag{18}$$

Анализ выражения (18) приводит к следующим выводам.

1. При равенстве левой и правой частей выражения максимальная глубина подъема по условию положительной величины натяжения в точке *2* (см. рис. 2) и по условию непроскальзывания каната равны. Следовательно, для определения максимальной глубины подъема можно пользоваться как формулой (13), так и (14).

2. Если левая часть уравнения больше правой, то максимальная глубина подъема по первому условию меньше, чем по второму. Следовательно, необходимо пользоваться формулой (13).

3. Если левая часть уравнения меньше правой, то максимальная глубина подъема по первому условию больше, чем по второму. Следовательно, необходимо пользоваться формулой (14).

На основании уравнений (13), (14) и (18) построим графики (рис. 3) максимальной глубины подъема одноканатным и двухканатным

элеваторами в зависимости от производительности. При этом принимаем: $m = 8$; $\kappa_з' = 1{,}1$; $\kappa_з'' = 1{,}1$; $\mu = 0{,}2$; $\alpha = 3{,}14$ для одноканатного элеватора с круглым и плоским канатом и $\alpha = 3{,}66$ для двухканатного элеватора с круглым канатом; R и p, согласно ГОСТ 3070—55, 3092—55 и 3071—55; $\kappa_н = 0{,}85$; $\kappa_т = 0{,}5 \div 0{,}35$; $\kappa_ш = 1{,}05$; $v = 1{,}5$ *м/сек*.

Как видно из графиков рис. 3, канатные элеваторы в ряде случаев могут удовлетворить необходимым условиям подъема на современных угольных шахтах. Эта область применения может быть значительно расширена использованием ковшей из легких сплавов, приводных шкивов

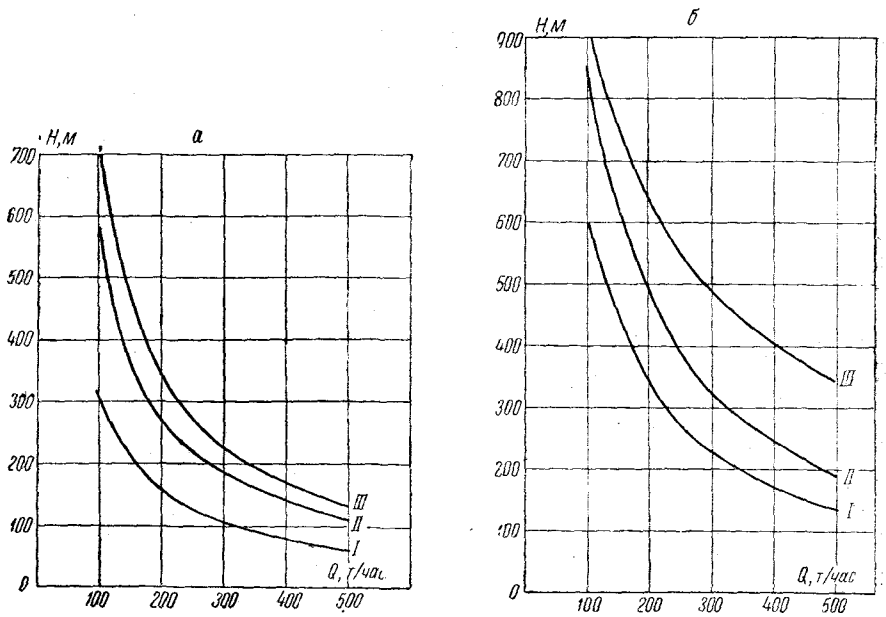


Рис. 3. Максимальная глубина подъема на один привод одноканатным (*а*) и двухканатным (*б*) элеваторами. Канаты:
I — 40,5-190-*I* (ГОСТ 3070 — 55); *II* — 170-190-I (ГОСТ 3092 — 55) (плоский);
III — 65-160-I (ГОСТ 3071 — 55)

с алюминиевой футеровкой или с электромагнитным сцеплением, а также установкой промежуточных приводов.

Одним из ответственных элементов конструкции ковшового элеватора является загрузочное устройство, эффективность работы которого в значительной степени определяет надежность эксплуатации всей установки в целом.

Практика эксплуатации ковшовых элеваторов фабрично-заводского типа показывает, что основные неполадки в работе связаны с процессом загрузки ковшей и в частности с просыпанием материала при загрузке. В связи с этим в качестве одной из простых схем загрузочных устройств, при которой весь просыпавшийся материал автоматически подается в ковши, предлагается схема, приведенная на рис. 4. Загрузочное устройство представляет собой скребково-ковшовый конвейер, который загружает в ковши материал, поступающий в погрузочный желоб *9* из магистрального конвейера *10*. Материал, не попавший в ковши, падает в башмак элеватора, откуда через отверстие *7* поступает в нижний желоб *8* питателя и автоматически подается в погрузочный желоб *9*. Загрузочное устройство отличается простотой конструкции, надежностью

работы и не требует специальных устройств, чтобы избежать просыпания материала при загрузке и для подачи этого материала в ковши. Это устройство пригодно для загрузки мелкого и крупного материала. Чтобы уменьшить количество материала, попадающего в башмак элеватора, предусматривается установка в нем концевых выключателей. Ковш элеватора при подходе к пункту загрузки замыкает контакт *3* силовой электрической цепи двигателя загрузочного устройства и включает загрузочное устройство в работу. Находясь на уровне выпускного отверстия загрузочного устройства (контакт *4*), ковш выключает цепь двигателя конвейера и останавливает работу загрузочного устройства.

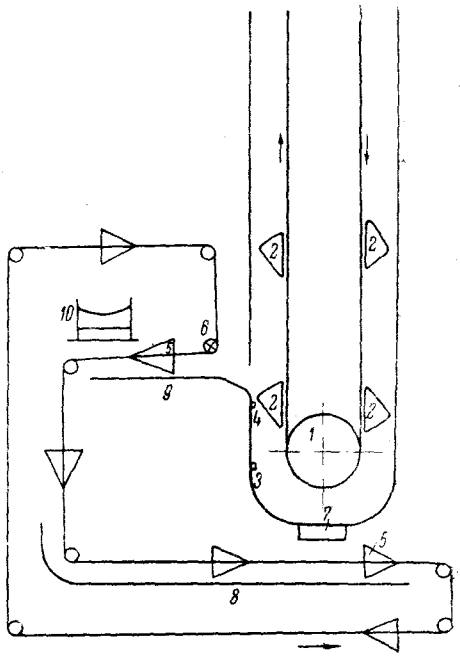


Рис. 4. Схема загрузочного устройства ковшового элеватора:

1 — натяжной шкив элеватора; *2* — ковши элеватора; *3* и *4* — концевые выключатели; *5* — ковши питателя; *6* — приводная звездочка цепи питателя; *7* — выпускное отверстие башмака элеватора; *8* и *9* — нижний и верхний погрузочные желобы питателя; *10* — магистральный конвейер, подающий материал из околоствольного двора

Таким образом, канатные ковшовые элеваторы по техническим возможностям вполне применимы для подъема угля по стволам вертикальных шахт. По сравнению с существующими шахтными скиповыми подъемниками они имеют следующие преимущества: 1) автоматичность и непрерывность действия; 2) меньший расход энергии на 15—20% вследствие отсутствия потерь в пусковом реостате; 3) меньшие величины установочной мощности на 15—20% и максимально потребляемой (пиковой) мощности в 1,5—1,8 раза вследствие отсутствия пусковых моментов при каждом цикле подъема; 4) большую простоту сооружений в околоствольном дворе (в связи с отсутствием бункера) и на поверхности (в связи с меньшей высотой надшахтного копра, отсутствием околошахтного бункера и других сооружений).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Спивакoвский А. О. Канатные конвейеры. Изд-во АН СССР, 1951.
2. Пеньков А. М. и Кровелец М. С. О применении стальных канатов в конвейерных установках. «Вопросы горной механики», сб. Изд-во АН УССР, 1956.