ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 158 1968

ЗАЩИТА ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК ОТ НАПУСКА КАНАТА ПО ПОЛОЖЕНИЮ СОСУДОВ В СТВОЛЕ

Н. И. КЛЫКОВ, В. С. УДУТ

(Представлена научным семинаром кафедры горных машин, рудничного транспорта и горной механики)

Способы контроля напуска каната, применяемые в настоящее время на шахтных подъемных установках, являются несовершенными и ненадежными в работе [1]. Защита подъемных установок от напуска каната по положению сосудов в стволе применима для шахт любой глубины, проста в исполнении и надежна в эксплуатации. Сущность этого метода заключается в том, что при нормальной работе подъемной установки положению одного сосуда соответствует определенное положение другого сосуда. При аварийном и эксплуатационном напуске каната это соответствие нарушается, что приводит к срабатыванию специальных устройств, к разрыву цепи защиты и остановке подъемной машины.

На одной из шахт Кузбасса указанный принцип использован для защиты подъемной установки от застревания сосудов в разгрузочных кривых. Для этой схемы использованы обычные концевые выключатели, которые включены в цепь защиты (рис. 1). Верхний и нижний выключатели аварийного напуска $ВАН_1$ и $ВАН_2$ включены параллельно в цепь защиты таким образом, что при прохождении сосудов один из них размыкается, а другой замыкается. При движении сосудов в обратном направлении разомкнутые контакты концевых выключателей замыкаются, а замкнутые — размыкаются. Таким образом, при нормальной работе установки цепь защиты всегда зашунтирована. В случае застревания сосуда в верхней части ствола концевой выключатель $ВАН_1$ останется разомкнутым, а поднимающийся нижний сосуд разомкнет контакты выключателя $ВАН_2$. Этот случай соответствует разрыву цепи защиты, что приводит к остановке машины и наложению предохранительного тормоза. Аналогично в цепь защиты включены концевые выключатели $ВАН_3$ и $ВАН_4$ — для другого положения сосудов. Группа выключателей $ВАН_1$ и $ВАН_2$ включена последовательно с группой выключателей $ВАН_3$ и $ВАН_4$. Цепь защиты окажется разомкнутой лишь в том случае, когда оба выключателя одной из групп разомкнут свои контакты.

Необходимыми условиями работы приведенной схемы являются следующие. При установке одного сосуда на уровне разгрузки, а другого — на посадочные устройства верхний выключатель $ВАН_1$ должен быть разомкнут, а нижний выключатель $ВАН_2$ — замкнут (это относится и к выключателям другой группы — соответственно $ВАН_3$ и $ВАН_4$).

Во избежание разрыва цепи защиты при нормальной работе установки в начале подъемной операции замыкание контактов верхнего выключателя $ВАН_1$ должно происходить раньше, чем разомкнутся контакты

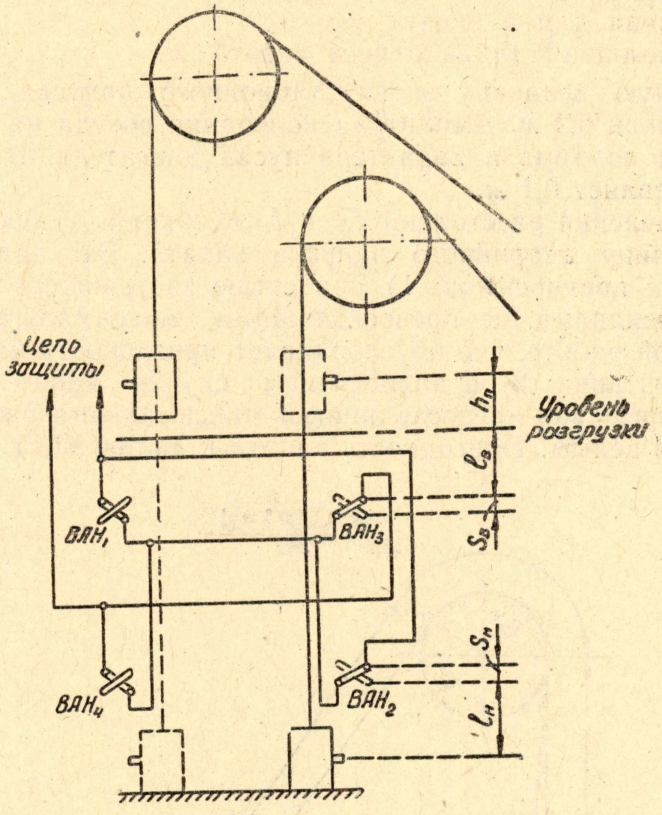

Рис. 1. Принципиальная схема контроля аварийного напуска каната по положению подъемных сосудов

нижнего выключателя $ВАН_2$. В соответствии со сказанным условие установки выключателей для контроля аварийного напуска примет вид

$$h_п + l_в + S_в - \Delta l_у - l_н - \Delta l_н \geqslant S_н + a_к, \qquad (1)$$

где $h_п$ — превышение сосудом нормального уровня разгрузки, *м*;
$l_в$ — расстояние между верхним выключателем и включающим кулачком сосуда, установленного на уровне разгрузки, *м*;
$l_н$ — расстояние между нижним выключателем и включающим кулачком сосуда, установленного на посадочные устройства, *м*;
$S_в$ — ход верхнего выключателя, *м*;
$S_н$ — ход нижнего выключателя, *м*;
$\Delta l_у$ — упругое сокращение каната при посадке сосуда, *м*;
$\Delta l_н$ — допускаемая величина эксплуатационного напуска каната, *м*;
$a_к$ — амплитуда колебания сосуда на канате, *м*.

Для определения величины превышения сосудом нормального уровня разгрузки предлагается формула (2)

$$h_п = 0{,}3 + 0{,}4 \cdot 10^{-3} H, \qquad (2)$$

где H — высота подъема, *м*.

Величина упругого сокращения каната при посадке подъемного сосуда (3)

$$\Delta l_y = 0{,}84 \cdot 10^{-6} k_0 (L_{пр} - H_0), \qquad (3)$$

где κ_0 — коэффициент концевой нагрузки;

$L_{пр}$ — прочная длина каната, *м*;

H_0 — наибольшая длина отвеса каната, *м*.

Допускаемую величину эксплуатационного напуска предлагается принимать равной 0,2 *м*. Амплитуда колебания сосуда на канате зависит от высоты подъема и характера пуска двигателя. В среднем эта величина составляет 0,1 *м*.

Для определения расстояний $l_в$ и $l_н$ необходимо обосновать допускаемую величину аварийного напуска каната. Эту задачу решаем, исходя из двух предпосылок: 1) при срыве застрявшего сосуда канат нагружается усилиями, не превосходящими максимальных нагрузок при нормальной работе, что обусловливает пригодность каната к дальнейшей эксплуатации; 2) в аналогичном случае канат нагружается усилиями, значительно превосходящими максимальные рабочие нагрузки, но остается целым. Пригодность каната к дальнейшей эксплуатации

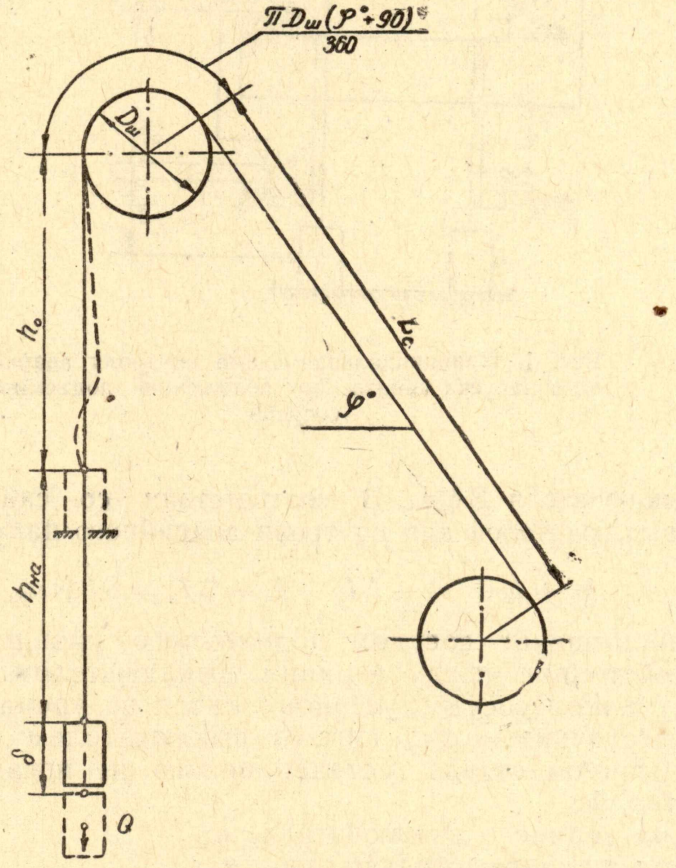

Рис. 2. Расчетная схема для определения допускаемой величины аварийного напуска каната

не гарантируется. Выявим сначала зависимость между величиной аварийного напуска и усилиями, возникающими в канате при падении застрявшего сосуда.

Исследуя аналогичные явления, проф. Ф. В. Флоринский для определения напряжений в канате приводит уравнение в форме бесконеч-

ных рядов [4]. Исходя из анализа этого уравнения там же приводится формула для определения максимальных динамических усилий.

$$F_д = (\alpha_к + \kappa_д)\, Q, \tag{4}$$

где $\alpha_к$ — отношение веса ненавитой части каната к полной концевой нагрузке;

Q — вес груза, приложенного со скоростью к нижнему концу каната, *кг*.

Коэффициент $\kappa_д$, в свою очередь, зависит от сечения каната, модуля упругости, скорости распространения волн деформации и скорости груза, подвешенного к нижнему концу каната. Значение этого коэффициента приводится в цитируемой работе. Однако решение по методике проф. Ф. В. Флоринского является довольно сложным, причем определение ряда исходных величин практически затруднительно.

Приводим решение задачи, исходя из теории растягивающего удара (5) и пренебрегая влиянием массы каната на удар, потерей энергии падающего груза на рассеивание и энергией волн. В соответствии с принятыми допущениями работа падающего груза целиком переходит в потенциальную энергию деформации каната (рис. 2).

$$Q \cdot (h_{на} + \delta) = \frac{F_д}{2}\, \delta, \tag{5}$$

где $h_{на}$ — аварийный напуск, *м*;

δ — абсолютная деформация каната при динамическом нагружении, *м*.

Величина деформации

$$\delta = \frac{F_д \cdot l_к}{E_к \sum S_к}, \tag{6}$$

где $l_к$ — длина каната, участвовавшего в растягивающем ударе, *м*;

$E_к$ — модуль упругости каната, *кг/см²*;

$\sum S_к$ — суммарное поперечное сечение проволок каната, *см²*.

Подставив значение (6) в формулу (5) и сделав соответствующие преобразования, получим

$$h_{на} = \frac{F_д^2 \cdot l_к}{2Q E_к \Sigma S_к} - \frac{F_д \cdot l_к}{E_к \Sigma S_к}. \tag{7}$$

Длина каната, участвовавшего в динамическом растяжении

$$l_к = L_с + \frac{\pi D_ш (\varphi^\circ + 90^\circ)}{360^\circ} + h_0, \tag{8}$$

где $L_с$ — длина струны каната, *м*;

$D_ш$ — диаметр направляющего шкива, *м*;

φ° — угол наклона струны каната к горизонту, град.;

h_0 — наименьшая длина отвеса каната, *м*.

Подставив в формулу (7) значение длины каната, подвергнутого растягивающему удару (8), получим

$$h_{на} = \frac{\dfrac{F_д}{E_к \Sigma S_к}\left(\dfrac{F_д}{2Q} - 1\right)\left[L_с + \dfrac{\pi D_ш (\varphi^\circ + 90^\circ)}{360^\circ} + h_0\right]}{1 - \dfrac{F_д}{E_к \sum S_к}\left(\dfrac{F_д}{2Q} - 1\right)}. \tag{9}$$

Для соблюдения условия сохранения каната для дальнейшей эксплуатации максимальное динамическое усилие при растягивающем ударе не должно превышать удвоенного максимального статического усилия (6).

$$F_д \leqslant 2(Q_0 + pH_0), \tag{10}$$

где Q_0 — расчетная концевая нагрузка, *кг*;
p — вес 1 *м* длины каната, *кг/м*.

Для соблюдения условия предотвращения обрыва каната динамическое усилие при растягивающем ударе не должно превышать разрывной нагрузки на канат, т. е.

$$F_д \leqslant \frac{F_р}{\kappa_{бр}} = \frac{m_ф(Q_0 + pH_0)}{\kappa_{бр}}, \tag{11}$$

где $F_р$ — разрывное усилие для каната, *кг*;
$\kappa_{бр}$ — коэффициент безопасности от разрыва каната;
$m_ф$ — фактический запас прочности каната.

Заменив в формуле (9) значение динамического усилия (10), получим допускаемую величину аварийного напуска, исходя из условий сохранения работоспособности каната

$$h'_{на} = \frac{\dfrac{2(Q_0 + pH_0)}{E_к \Sigma S_к}\left(\dfrac{Q_0 + pH_0}{Q} - 1\right)\left[L_с + \dfrac{\pi D_ш(\varphi° + 90°)}{360°} + h_0\right]}{1 - \dfrac{2(Q_0 + pH_0)}{E_к \Sigma S_к}\left(\dfrac{Q_0 + pH_0}{Q} - 1\right)}. \tag{12}$$

Сделав аналогичную подстановку значений динамического усилия (11) в формулу (9), получим допускаемую величину аварийного напуска, исходя из условий предотвращения обрыва каната:

$$h''_{на} = \frac{\dfrac{m_ф(Q_0 + pH_0)}{\kappa_{бр} E_к \Sigma S_к}\left[\dfrac{m_ф(Q_0 + pH_0)}{2\kappa_{бр} \cdot Q} - 1\right]\left[L_с + \dfrac{\pi D_ш(\varphi° + 90°)}{360°} + h_0\right]}{1 - \dfrac{m_ф(Q_0 + pH_0)}{\kappa_{бр} E_к \Sigma S_к}\left[\dfrac{m_ф(Q_0 + pH_0)}{2\kappa_{бр} \cdot Q} - 1\right]}. \tag{13}$$

Выведенные формулы (12) и (13) применимы как для случая застревания порожнего сосуда, так и для случая застревания сосуда с грузом.

Для определения модуля упругости каната можно использовать формулу, предложенную проф. Ф.В. Флоринским (4),

$$E_к = 0{,}86 \cdot 10^6 \left(\frac{\Sigma S_к}{p}\right)^4. \tag{14}$$

Прочная длина каната (7)

$$L_{пр} = \frac{10^6 \sigma_{пч}}{\gamma m_ф}, \tag{15}$$

где $\sigma_{пч}$ — расчетный предел прочности каната, *кг/см²*;
γ — фиктивный вес 1 *м³* каната, *кг/м³*.

Для обеспечения работоспособности рассмотренной выше схемы контроля напуска (рис. 1) принятая величина допускаемого аварийного напуска в любом случае должна удовлетворять условию

$$h_{на} \geqslant \Delta l_у + \Delta l_н + l_н + S_н + S_т, \tag{16}$$

где $S_т$ — дополнительная длина каната, свиваемого с барабана после подачи импульса на торможение до остановки машины, *м*.

Из формулы (16) расстояние от включающего кулачка нижнего сосуда до положения выключателя аварийного напуска

$$l_н = h_{на} - \Delta l_у - \Delta l_н - S_н - S_т. \qquad (17)$$

Ввиду того, что при образовании аварийного напуска в верхней части ствола скорость сосуда незначительна, а замедление при предохранительном торможении в этом случае составляет около 5 *м/сек*², величина тормозного пути, входящая в формулы (16) и (17), составляет не более 0,1 *м*. В случае застревания сосуда в средней части ствола тормозной путь во много раз превышает указанную величину и наиболее просто может быть определен экспериментально.

Для верхнего выключателя расстояние от его установки до включающего кулачка сосуда, находящегося на уровне разгрузки, определяется из условия (1).

$$l_в = l_н + \Delta l_у + \Delta l_н + S_н + a_к - h_п - S_в. \qquad (18)$$

Пример. Произвести установку концевых выключателей для защиты подъемной установки шахты им. С. М. Кирова (Кузбасс) от аварийного напуска каната в верхней части ствола по положению подъемных сосудов. Нормальный вес поднимаемого груза 7000 *кг*; мертвый вес скипа 6000 *кг*; наибольшая и наименьшая длина отвеса каната соответственно составляют 245 и 10 *м*; фктический запас прочности каната 8; вес 1 *м* длины каната 6,1 *кг/м*; площадь сечения проволок каната 7 *см*²; длина струны, включая часть каната, расположенного на шкиве, 45 *м*.

Решение. Определяем модуль упругости каната (14).

$$E_к = 0{,}86 \cdot 10^6 \left(\frac{7}{6{,}1}\right)^4 = 1{,}5 \cdot 10^6 \; кг/см^2.$$

Допускаемая величина аварийного напуска из условий сохранения работоспособности каната после растягивающего удара (12)

$$h'_{на} = \frac{55 \cdot \dfrac{2(6000 + 7000 + 6{,}1 \cdot 245)}{1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 7}\left(\dfrac{6000 + 7000 + 6{,}1 \cdot 245}{6000} - 1\right)}{1 - \dfrac{2(6000 + 7000 + 6{,}1 \cdot 245)}{1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 7}\left(\dfrac{6000 + 7000 + 6{,}1 \cdot 245}{6000} - 1\right)} =$$

$$= 0{,}19 \; м.$$

Принимаем коэффициент безопасности 1,2. Допускаемая величина аварийного напуска из условий предотвращения обрыва каната(13)

$$h''_{на} = \frac{55 \cdot \dfrac{8(6000 + 7000 + 6{,}1 \cdot 245)}{1{,}2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 7}\left[\dfrac{8(6000 + 7000 + 6{,}1 \cdot 245)}{1{,}2 \cdot 2 \cdot 6000} - 1\right]}{1 - \dfrac{8(6000 + 7000 + 6{,}1 \cdot 245)}{1{,}2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^6 \cdot 7}\left[\dfrac{8(6000 + 7000 + 6{,}1 \cdot 245)}{1{,}2 \cdot 2 \cdot 6000} - 1\right]} =$$

$$= 3{,}25 \; м.$$

Решение по методике проф. Ф. В. Флоринского дает соответственно для первого и второго случаев $h'_{на} = 0{,}18 м$ и $h''_{на} = 3{,}32 м$, т. е. получаемая разница в результатах не имеет существенного значения. Ввиду того, что допускаемая величина аварийного напуска, исходя из условий сохранения работоспособности каната, значительно ниже величины превышения нормального уровня разгрузки, ориентируемся на второй случай. Принимаем коэффициент концевой нагрузки 0,55; расчетный предел прочности каната 180 *кг/мм*²; фиктивный вес 1 *м*³ каната 9200 *кг/м*³. Прочная длина каната (15)

$$L_{пр} = \frac{180 \cdot 10^6}{9000 \cdot 8} = 2440 \; м.$$

Упругая деформация каната при посадке сосуда (3)

$$\Delta l_у = 0{,}84 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}55\,(2440 - 245) \cdot 245 = 0{,}25 м.$$

Величина превышения уровня разгрузки (2)

$$h_п = 0{,}3 + 0{,}0004 \cdot 235 = 0{,}435 м.$$

Принимаем: $\Delta l_н = 0{,}2 м$; $a_к = 0{,}1 м$; $S_т = 0{,}1 м$; $S_н = S_в = 0{,}1 м$. Определяем расстояние от включающего кулачка сосуда, установленного на посадочные устройства, до нижнего выключателя аварийного напуска (17)

$$l_н = 3{,}35 - 0{,}25 - 0{,}2 - 0{,}1 - 0{,}1 = 2{,}7 м.$$

Расстояние от включающего кулачка сосуда, установленного на уровне разгрузки, до верхнего выключателя аварийного напуска (18)

$$l_в = 2{,}7 + 0{,}25 + 0{,}2 + 0{,}1 + 0.1 - 0{,}435 - 0{,}1 = 2{,}815 м.$$

Расчеты по приведенным формулам для конкретных шахт Кузбасса показали, что большей частью не удается соблюсти условие сохранения работоспособности каната после ударного нагружения, так как получаемые результаты в этом случае не позволяют произвести настройку концевых выключателей по рассмотренной схеме. По этой причине рекомендуется ориентироваться на второй вариант, гарантирующий только целостность каната. Возможность же дальнейшего использования каната решается по эффекту ударного нагружения или путем испытаний каната.

Схема, представленная на рис. 1, имеет следующие недостатки: 1) отсутствие контроля эксплуатационного напуска; 2) замыкание и размыкание контактов аварийных выключателей происходит под током, что вызывает пригорание контактов и понижает надежность работы схемы; 3) отсутствует сигнализация о характере нарушения режима работы установки. Предлагаемая схема (рис. 3) лишена перечисленных недостатков. Выключатели аварийного напуска включены не в общую цепь защиты, а в отдельную цепь питания контакторных катушек. Так, группа выключателей аварийного напуска $ВАН_1$ и $ВАН_2$ включена в цепь контактора аварийного напуска $КАН_1$, который обеспечивает защиту от застревания одного из сосудов. Выключатели второй группы $ВАН_3$ и $ВАН_4$ включены в цепь контактора аварийного напуска $КАН_2$ и защищают установку от застревания другого сосуда. Выключатели одной группы устанавливаются последовательно между собой и с питаемым контактором с таким расчетом, чтобы при нормальной работе один из выключателей был замкнут, а другой — разомкнут. При образовании аварийного напуска оба выключателя одной группы замыкают свои контакты, давая питание катушке соответствующего контактора. Контактор, получивший питание, размыкает нормально замкнутые контакты в общей цепи защиты и замыкает нормально разомкнутые контакты в цепи отдельного сигнального устройства. Происходит остановка машины с одновременной подачей сигнала машинисту подъема — загораются лампы аварийного напуска $ЛАН_1$ и $ЛАН_2$.

Для контроля эксплуатационного напуска каната в схему введена еще одна группа выключателей: $ВЭН_1$ и $ВЭН_2$. Эти выключатели имеют нормально открытые контакты, которые включены последовательно между собой и в цепь катушки контактора эксплуатационного напуска КЭН. Следовательно, катушка контактора КЭН получит питание лишь в случае одновременного замыкания контактов выключателей $ВЭН_1$ и $ВЭН_2$. Это и происходит, когда эксплуатационное удлинение канатов превышает допускаемую величину, т. е. когда возможный фактический

напуск каната будет превышать допускаемую величину. При получении питания катушки контактора КЭН размыкает контакты в общей цепи защиты и замыкает контакты, питающие лампу эксплуатационного напуска ЛЭН. В отличие от выключателей аварийного напуска выключатели $ВЭН_1$ и $ВЭН_2$ фиксируют положение «замкнуто» только в период прохождения около них включающих кулачков на сосудах. Установка выключателей эксплуатационного напуска производится после тщательного регулирования длины канатов, когда выбирается вся пластическая деформация канатов. Верхний выключатель $ВЭН_1$ устанавливается произвольно, метров на 5—10 ниже включающего кулачка сосуда, установленного на уровне разгрузки. Затем опускают верхний сосуд до

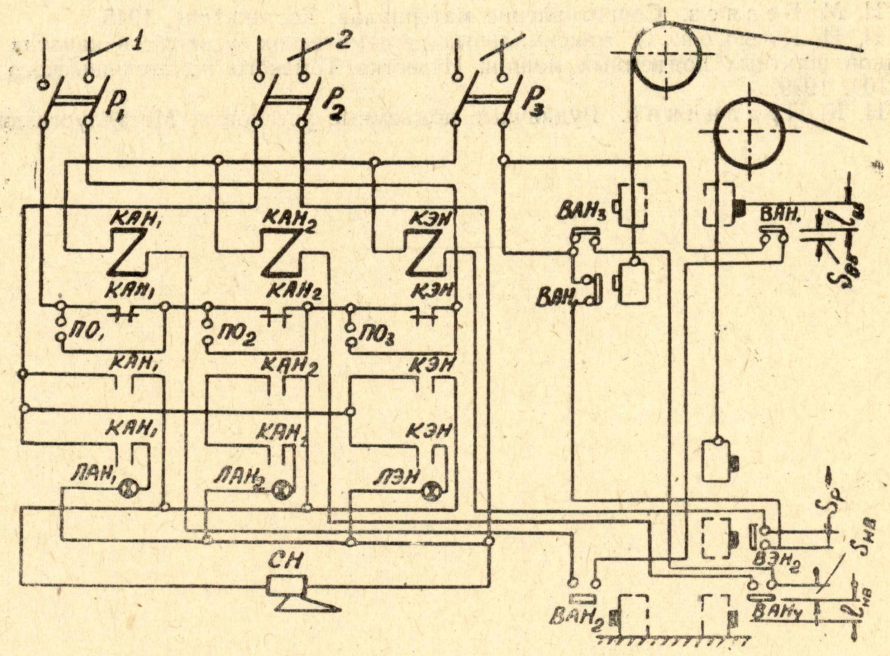

Рис. 3. Предлагаемая схема защиты подъемной установки от напуска каната

срабатывания выключателя $ВЭН_1$. В это время почти на такую же высоту поднимается второй сосуд и выключатель $ВЭН_2$ устанавливают ниже включающего кулачка этого сосуда на величину допускаемого напуска или принятого шага регулирования каната. Приемлем и обратный порядок установки выключателей эксплуатационного напуска: сначала произвольно устанавливается нижний выключатель $ВЭН_2$, поднимают нижний сосуд до срабатывания $ВЭН_2$ и затем с принятым снижением устанавливают верхний выключатель $ВЭН_2$. В том и другом случае выключатели не должны попадать в зону загрузки и разгрузки. Для концентрирования внимания машиниста можно рекомендовать сирену напуска СН, включаемую при срабатывании любого контактора аварийного или эксплуатационного напуска. Для восстановления цепи защиты предусмотрены обходные переключатели $ПО_1$, $ПО_2$ и $ПО_3$. Методика настройки выключателей аварийного напуска не отличается от описанной выше.

Кроме перечисленных преимуществ предложенная схема не требует потребления энергии, так как включение и выключение контактов при нормальной работе установки происходит в разомкнутых цепях. Вся необходимая аппаратура комплектуется по блокам из элементов, выпу-

скаемых промышленностью. Выключатели эксплуатационного и аварийного напуска лучше применять бесконтактного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. И. Клыков. Контроль напуска каната на подъемных установках. Колыма, № 1, 1960.
2. Н. И. Клыков. Настройка концевых выключателей и ограничителей скорости на скиповых подъемных установках. Колыма, № 5, 1959.
3. Н. И. Клыков. Сравнение эксплуатационных качеств механизмов перестановки барабанов шахтных подъемных машин. В кн.: «Износ и прочность горного оборудования», Углетехиздат, 1959.
4. Ф. В. Флоринский. Динамика шахтного подъемного каната. Углетехиздат, 1955.
5. Н. М. Беляев. Сопротивление материалов. Гостехиздат, 1945.
6. Н. И. Клыков. О максимальных динамических усилиях в канатах у обода барабанов шахтных подъемных машин. Известия Томского политехнического института, т. 104, 1959.
7. Н. К. Правицкий. Рудничные подъемные установки. Металлургиздат, 1956.