

А.К. Малиновский**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА АВАРИЙНОЙ ОСТАНОВКИ
ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ
ПРИ ЗАСТРЕВАНИИ ОПУСКАЮЩЕГОСЯ СОСУДА**

Проведенные исследования режима аварийной остановки шахтной подъемной машины при зависании опускающегося подъемного сосуда для конкретной шахты показали образование напуска каната на сосуд, длина которого зависит от параметров предохранительного тормоза и времени запаздывания $t_{\text{зап}}$ подачи сигнала на включение предохранительного тормоза. Исследовалось влияние расстояния высоты застревания сосуда на величину длины напуска каната. Исследования показали, если параметры предохранительного тормоза были: $t_{\text{х.х}} = 0,5$ с и $K_{\text{с.н}} = 3$, а $t_{\text{зап}} = 1$ с, то получена длина напуска от 10 м до 11,86 м в зависимости от высоты зависания, которая изменялась от 50 м до 250 м. Разница оказалась незначительной, но сама длина напуска – значительной. Изменение параметров предохранительного тормоза за счет снижения времени холостого хода до $t_{\text{х.х}} = 0,1$ с и увеличение коэффициента статической надежности до $K_{\text{с.н}} = 5$ величина напуска каната $L_{\text{н}}$ снижается на 31% при $h_{\text{зав}} = 50$ м и на 35% при $h_{\text{зав}} = 250$ м. Дальнейшее снижение напуска каната можно достичь за счет снижения времени задержки до величины $t_{\text{зап}} = 0,1$ с, о чем свидетельствуют результаты исследования этого режима. Длина напуска каната при этом снижается на 42% при $h_{\text{зав}} = 250$ м.

Ключевые слова: подъемная машина, застревание, предохранительный тормоз, время задержки, коэффициент статической надежности.

При эксплуатации шахтных подъемных установок (ШПУ) большинство аварий связано с нарушением режима движения подъемного сосуда в шахтном стволе. К нему относятся:

- зависание опускающегося и застревание поднимающегося сосуда в шахтном стволе;
- «набегание» сосуда на тяговый канат;
- переподъем сосуда;
- превышение максимальных допустимых значений скорости и ускорения и многие другие [1].

Во всех вышеприведенных случаях требуется не только экстренная, но и интенсивная остановка подъемных сосудов, что осуществляется наложение тормозных колодок предохранительного тормоза к ободу барабана. Особенно это важно в случае зависания опускающегося или застревание поднимающегося сосуда в шахтном стволе.

Явление зависания подъемного сосуда в стволе шахты опасно тем, что при внезапном его освобождении резко выбирается образовавшийся напуск каната, то он оказывается либо оборванным, либо деформированным настолько, что его приходится заменять [2].

Для того чтобы длина напуска каната была минимальной необходимо как можно быстрее накладывать предохранительный тормоз. Для этого необходимо контролировать момент зависания и в случае его появления подавать сигнал на включение предохранительного тормоза и остановку подъемной машины.

Процесс аварийной остановки ШПМ при зависании опускающегося сосуда описывается следующим дифференциальным уравнением

$$m_{np} \cdot \frac{dV}{dt} = -1,15 \cdot F_c - F_{T.M.}(t), \quad (1)$$

где m_{np} – масса движущихся частей ШПУ, приведенных к ободу барабана; V – линейная скорость движения подъемных сосудов; 1,15 – коэффициент, учитывающий силы трения; F_c – усилие, создаваемое поднимаемым грузом; $F_{T.M.}$ – текущее усилие, создаваемое предохранительным тормозом.

Процесс предохранительного торможения в зависимости от величины тормозного усилия разбивается на следующие периоды: период холостого хода $F_{T.M.}(t) = 0$, период нарастания тормозного усилия $F_{T.M.} = f(t)$ и период с установившимся усилием $F_{T.M.} = const$.

Период холостого хода включает в себя время запаздывания $t_{зад}$ и время холостого хода $t_{x.x}$ тормоза. Под временем запаздывания подразумевается время, идущее на срабатывание устройства контроля зависания подъемного сосуда. В работе показано, что это время может колебаться в пределах от 0,1 с до 0,9–1,2 с [3].

Характер нарастания тормозного усилия, определяемый типом и параметрами тормозного привода, принимается экспоненциальным [4].

Следовательно, уравнение тормозной характеристики запишется в виде

$$F_{T.M.}(t) = \begin{cases} 0; & 0 \leq t \leq t_{зад} + t_{x.x}; \\ F_{T.M.max} \cdot [1 - \exp(-t / T_{T.M})]; & t_{зад} + t_{x.x} \leq t \leq t_{зад} + t_{x.x} + t_H; \\ F_{T.M.max} & t_{зад} + t_{x.x} + t_H \leq t \leq t_{зад} + t_{x.x} + t_H + t_y \end{cases} \quad (2)$$

где $F_{T.M.max}$ – максимальное усилие предохранительного тормоза; t_H , t_y – соответственно время нарастания тормозного усилия и время движения с максимальным (установившимся) усилием; $T_{T.M.}$ – механическая постоянная времени предохранительного тормоза.

Разделив левую и правую часть уравнения (1) на F_c , получим

$$\frac{dV}{dt} = \frac{-1,15 - K_{c.H}(t)}{\mu_{c.H}}, \quad (3)$$

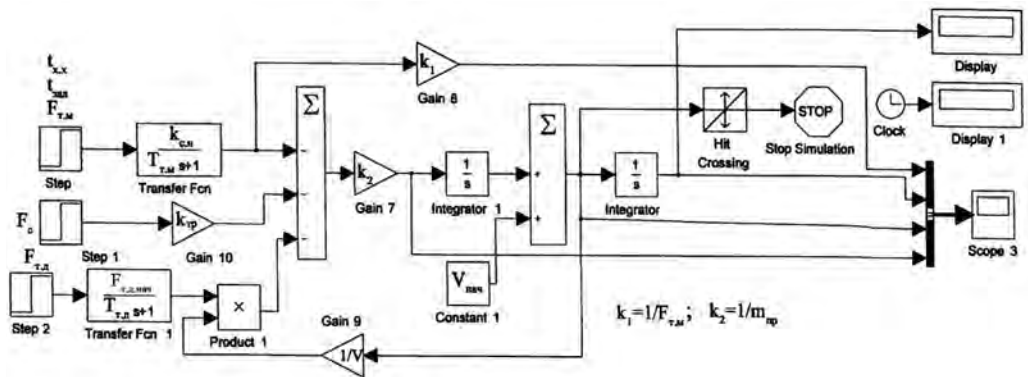


Рис. 1

где $K_{с.н} = \frac{F_{г.м.макс}}{F_c}$ – коэффициент статической надежности $k_{с.н}$;

$\mu_{ст} = \frac{m_{пр}}{F_c}$ – массивность.

Дифференциальному уравнению соответствует структурная схема, приведенная на рис. 1.

Задача исследования аварийной остановки при застревании опускающегося сосуда – определение пути торможения, а следовательно, длины напуска каната L_H .

В качестве примера рассматривалась ШПУ с параметрами: $m_{пр} = 60\,245$ кг, $F_c = 56\,100$ Н, $V = 5,7$ м/с; $K_{с.н} = 3$, $t_{x,x} = 0,5$ с, $T_{т.м} = 0,65$ с. Высота зависания сосуда принималась $h_{зав} = 50, 100, 150, 200$ и 250 м. Наиболее неблагоприятным случаем будет время запаздывания включения предохранительного тормоза $t_{зап} = 1$ с.

Обработка полученных осциллограмм переходного процесса остановки подъемного сосуда в зависимости от места его застревания позволила построить диаграммы, приведенные на рис. 2. Анализируя, представленные диаграммы $L_H = f(h_{зав})$, можно сделать следующие выводы: величина напуска каната с увеличением высоты застревания увеличивается с 10 м до 11,86 м с увеличением высоты зависания, что незначительно. Однако, образовавшийся при этом напуск каната достаточно велик.

В последнее время проводятся работы по совершенствованию предохранительного тормоза. Эти усовершенствования сводятся либо к снижению времени

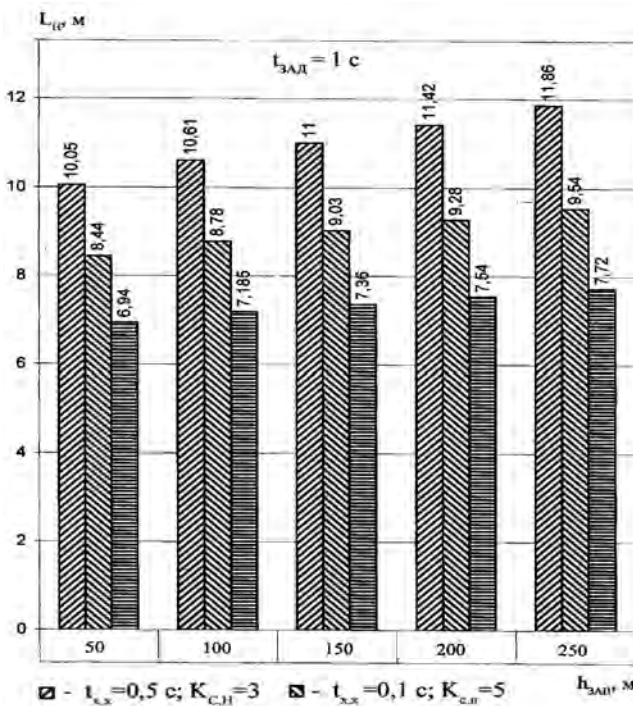


Рис. 2

холостого хода с $t_{x,x} = 0,5$ с до $t_{x,x} = 0,1$ с, либо к повышению коэффициента статической надежности с $K_{с.н} = 3$ до $K_{с.н} = 5$, либо того и другого [5]. На рис. 2 приведена диаграмма изменения длины напуска каната от высоты зависания сосуда $L_H = f(h_{зав})$, полученная, при условии, если $t_{x,x} = 0,1$ с и $K_{с.н} = 5$, из которой следует, что напуск каната снизится на 16% при $h_{зав} = 50$ м и на 19,6% – при $h_{зав} = 250$ м.

Если реализовать режим одновременного действия механического и электрического тормозов можно еще больше снизить напуск каната [6]. Об этом свидетельствует диаграмма $L_H = f(h_{зав})$, полученная при условии, если $t_{x,x} = 0,1$ с, $K_{с.н} = 5$. А асинхронный двигатель

переводится в режим динамического торможения с независимым возбуждением. Полученные при этом результаты приведены на рис. 2, из которых следует дальнейшее снижение L_H от 31% при $h_{зав} = 50$ м и до 35% при $h_{зав} = 250$ м.

В значительной степени можно снизить напуск каната при аварийной остановке застрявшего сосуда за счет снижения времени задержки до величины $t_{зап} = 0,1$ с.

На рис. 3 приведены диаграммы $L_H = f(h_{зав})$ при $t_{зап} = 0,1$ с, из которых следует, что напуск каната L_H продолжает снижаться при работе привода в режиме одновременного действия двух тормозов. Это позволяет снизить напуска каната на 42% при высоте зависания $h_{зав} = 250$ м.

Одновременно замерялась величина замедления, максимальная величина которой, составила $4,14 \text{ м/с}^2$ и не превысила допустимой величины замедления 5 м/с^2 .

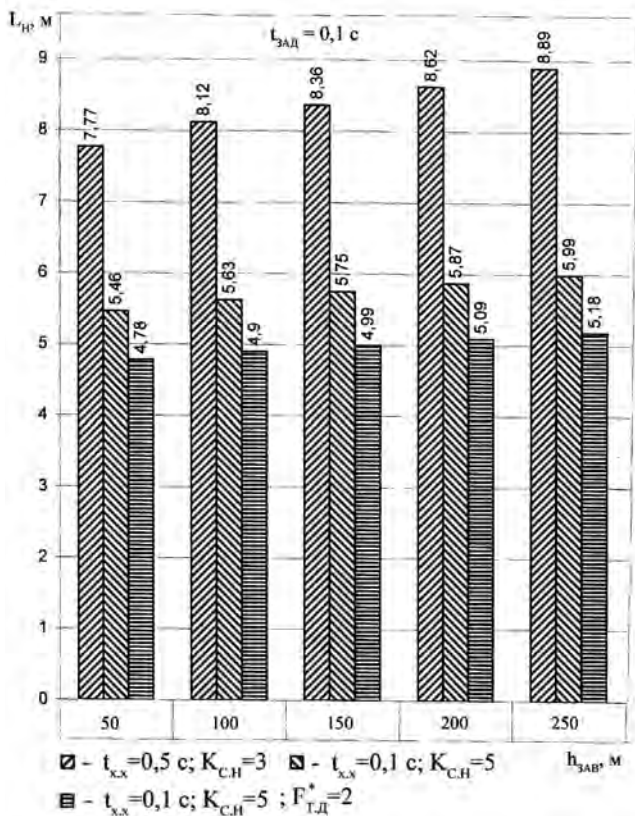


Рис. 3

Выводы

1. Показано, что при современной организации защиты над зависшим сосудом всегда накапливается свободная длина напуска каната, обусловленная:

- транспортным запаздыванием в формировании условий для регистрации регулируемого параметра, т.е. зависания подъемного сосуда;
- длительностью действия устройства защиты от напуска каната;
- длительностью торможения и остановки подъемной машины.

2. Показано, что применение новых способов торможения подъемной машины позволяет значительно снизить путь торможения, а следовательно, и напуск каната.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чудогашев Е.В., Корняков М.В. Современное состояние и перспективы развития устройств защиты шахтных подъемных установок // Вестник ИрГТУ. – 2003. – № 2. – С. 22–27.

2. Чудогашев Е.В., Корняков М.В. Способы и устройства защиты шахтных подъемных установок от провисания струны и напуска каната. – Иркутск: ИрГТУ, 2002. – 57 с.

3. Латыпов И.Н. Обоснование и обеспечение безопасности эксплуатации шахтных барабанных подъемных установок. Дисс. д-ра техн. наук. – Екатеринбург, 2009. – 330 с.

4. Бижок В.Р., Чайка В.Н., Кузьменко Н.Ф. и др. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок. – М.: Недра, 1982. – 91 с.

5. Малиновский А.К., Сидаш Я.А. Исследование аварийной остановки шахтной подъемной машины с переменными параметрами предохранительного тормоза // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 276–280.

6. Малиновский А.К. Повышение эффективности предохранительного торможения шахтных подъемных машин // Электрика. – 2013. – № 3. – С. 40–44. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Малиновский Анатолий Кузьмич – доктор технических наук, профессор, МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

UDC 622.67

ANALYSIS OF EMERGENCY STOP MODE OF MINE HOIST WHEN CONVEYANCE GOING DOWN IS JAMMED

Malinovskiy A.K., Doctor of Technical Sciences, Professor, Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

The analysis of emergency stop mode of a mine hoist when down going conveyance is jammed in a particular mine has shown that hoisting cable lapping is formed on the top of the conveyance in this case, and the length of the lapping depends on parameters of safety brake and on lag time $t_{\text{зап}}$ of the safety brake actuation signal. The analysis involved influence exerted by height at which the conveyance was jammed on the length of the hoisting cable lapping. The research has shown that when the safety brake has the parameters: tidle run $t_{\text{xx}} = 0,5$ s, $K_{\text{с.н}} = 3$ and $t_{\text{зап}} = 1$ s, the length of the cable lapping is from 10 to 11.86 m conditioned by the jamming height varied from 50 to 250 m in the tests. The difference between these lapping values is minor but the length is considerable. With the change of the safety brake parameters by means of reduction in the idle run time down to tidle run $t_{\text{xx}} = 0,1$ s and increase in the statistical reliability factor to $K_{\text{с.н}} = 5$, the hoist cable lapping length $L_{\text{н}}$ is shortened by 31% when $h_{\text{зап}} = 50$ m and by 35% at $h_{\text{зап}} = 250$ m. It is possible to decrease the length of the hoist cable lapping by reducing the safety brake actuation lag time down to $t_{\text{зап}} = 0,1$ s, which is confirmed by the analysis of such mode. In this case, the cable lapping lengths is shorter by 42% at $h_{\text{зап}} = 250$ m.

Key words: mine hoist, jamming, safety brake, lag time, statistical reliability factor.

REFERENCES

1. Chudogashev E.V., Korniyakov M.V. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2003, no 2, pp. 22–27.

2. Chudogashev E.V., Korniyakov M.V. Sposoby i ustroystva zashchity shakhtnykh pod"emnykh ustanovok ot provisaniya struny i napuska kanata (Methods and facilities to protect mine hoists from cable slacking and lapping), Irkutsk, IrGTU, 2002, 57 p.

3. Latypov I.N. Obosnovanie i obespechenie bezopasnosti ekspluatatsii shakhtnykh barabannykh pod"emnykh ustanovok (Substantiation and support of safe operation of drum mine hoists), Doctor's thesis, Ekaterinburg, 2009, 330 p.

4. Bezhok V.R., Chayka V.N., Kuz'menko N.F. Rukovodstvo po revizii, naladke i ispytaniyu shakhtnykh pod"emnykh ustanovok (Guidelines on inspection, checkout and testing of mine hoists), Moscow, Nedra, 1982, 91 p.

5. Malinovskiy A.K., Sidash Ya.A. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2014, no 6, pp. 276–280.

6. Malinovskiy A.K. Elektriika. 2013, no 3, pp. 40–44.

