© А.К. Малиновский, А.П. Шаллоев, С.А. Сорокина, 2016

УДК 622.67

А.К. Малиновский, А.П. Шаллоев, С.А. Сорокина

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ТОРМОЗА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Приведены результаты исследования режима предохранительного торможения шахтных подъемных машин согласно их типоразмерам и даны рекомендации по применению режима одновременного действия двух тормозов, позволяющих повысить эффективность аварийной остановки.

Ключевые слова: шахтная подъемная машина, режим одновременного действия, динамическое торможение, ресурс, обечайка, тормозная колодка.

В работах [1, 2] показано, что для повышения эффективности предохранительного торможения в настоящее время существуют два направления, обеспечивающие снижение пути торможения. Первое направление – это снижение времени холостого хода $t_{х.х}$. Второе направление – это увеличение коэффициента статической надежности, представляющее собой отношение максимального усилия предохранительного тормоза к статическому усилию $K_{с.н} = F_{т.м.max}/F_{С}$. При наладке предохранительного тормоза $K_{с.н} = 3$ [3].

В работах [1, 2] приведены результаты исследования режима аварийной остановки шахтной подъемной машины (ШПМ) для конкретной шахты. Поэтому выводы, сделанные в работе не могут быть обобщающими для всех существующих подъемных установок, каждая из которых отличается начальным скоростями и диаметром барабана.

Согласно стандартному ряду ШПМ, они подразделяются на: малые подъемные машины с диаметром барабана от $D_б = 1{,}2$ м до $D_б = 3{,}5$ м и крупные подъемные машины с диаметром барабана $D_б = 4$ м и более. Малые подъемные машины рассчитаны на скорость подъема от $V_{ном} = 3{,}45$ м/с до $V_{ном} = 11{,}5$ м/с и крупные ШПМ – на скорость от $V_{ном} = 13{,}8$ м/с до $V_{ном} = 18{,}4$ м/с [4].

Наиболее существенным показателем при аварийной остановке ШПМ является путь торможения. В случае застревания опускающегося сосуда в стволе на него продолжает сматываться канат, образуя напуск. Образование напуска каната на застрявшем сосуде опасно тем, что при внезапном освобождении застрявшего сосуда резко выбирается образовавшийся напуск каната, что может привести к его обрыву, т.е. к аварии [5]. Поэтому необходима экстренная остановка ШПМ, чтобы обеспечить минимальный путь торможения.

Снизить путь торможения можно за счет повышения величины замедления, а этого можно достичь либо за счет снижения времени холостого хода предохранительного тормоза, либо за счет увеличения его тормозного усилия, т.е. коэффициента статической надежности. Дополнительно можно снизить путь торможения путем реализации режима одновременного действия двух тормозов механического и электрического. Электрический тормоз создается приводным электродвигателем. В электроприводе переменного тока асинхронный двигатель переводится в режим динамического торможения, широко применяемый в рабочем режиме при создании тормозного усилия.

Переходный процесс остановки ШПМ в режиме одновременного действия двух тормозов описывается следующим дифференциальным уравнением

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\mu_{св.ном}} \cdot \left[\mp 1 - \frac{F_{т.м}(t)}{F_c} - \frac{F_{т.д}(t) \cdot V / V_{НАЧ}}{F_c} \right],$$

где $\mu_{св.ном} = m/F_C$ – массивность; m – масса движущихся частей подъемной установки, приведенная к радиусу навивки; F_C – статическое усилие; $F_{т.м.}(t)$ – усилие, создаваемое предохранительным тормозом; $F_{т.д.}(t)$ – усилие, создаваемое электродвигателем, работающим в режиме динамического торможения; $\mp$ – знак (–) при подъеме и (+) – при спуске.

При испытании предохранительного тормоза снимается осциллограмма скорости, по которой определяется: время холостого хода $t_{х.х}$ и время торможения $t_т$. Зная начальную скорость $V_{нач}$ и время торможения $t_т$, определяется средняя величина замедления $a_{ср}$, которая не должна превышать предельно-допустимую величину замедления $A_{доп} = 5$ м/с^2 [6].

Рассмотрим переходный процесс аварийной остановки малых ШПМ при условии, когда $t_{х.х} = 0{,}5$ с и $K_{с.н} = 3$.

На рис. 1 приведены зависимости пути торможения $h_т$ (кривая *1*), коэффициента статической надежности $K_{с.н}$ (кривая *4*)

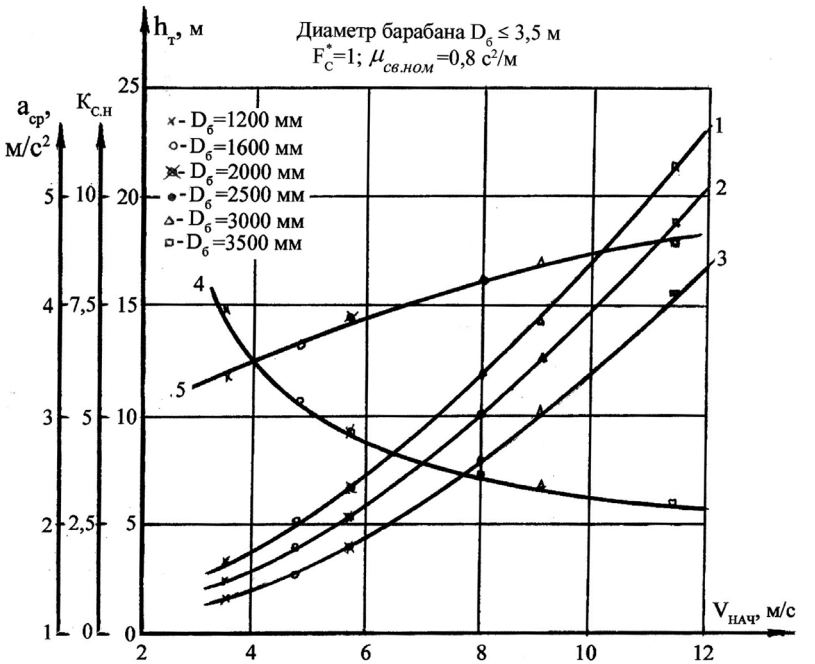

Рис. 1. Зависимости $h_т$, $a_{ср}$, $K_{С.Н} = f(V_{НАЧ})$ при аварийной остановке шахтной подъемной машины: 1 – $h_т = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}5$ с; $K_{С.Н} = 3$; 2 – $h_т = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}1$ с; $K_{С.Н} = 3$; 3 – $h_т = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}1$ с; $K_{С.Н} = var$; $F^*_{т.д.} = 2$; $a_{ср} = 5$ м/с²; 4 – $K_{С.Н} = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}1$ с; $F^*_{т.д.} = 2$; $a_{ср} = 5$ м/с²; 5 – $a_{ср} = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}5$ с; $K_{С.Н} = 3$

и средней величины замедления $a_{ср}$ от начальной скорости $V_{нач}$. Анализ кривой $a_{ср} = f(V_{нач})$ показывает, что ни на одной подъемной установке величина замедления не достигает допустимого значения $A_{доп} = 5$ м/с².

Для повышения замедления снижается время холостого хода до величины $t_{х.х} = 0{,}1$ с [6].

Коэффициент статической надежности остается неизменным $K_{с.н} = 3$.

Из кривой *2* следует, что путь торможения снижается от 23,7% при $V_{нач} = 3{,}45$ м/с и до 14,3% при скорости $V_{нач} = 11{,}5$ м/с.

Величина замедления при этом возрастает в 1,53 раза в первом случае и в 1,11 раза – во втором случае (кривая *5*). Несмотря на увеличение $a_{ср}$, она продолжает оставаться ниже допустимой величины, т.е. $a_{ср} = 3{,}68$ м/с² в первом случае и $a_{ср} = 4{,}03$ м/с² во втором случае.

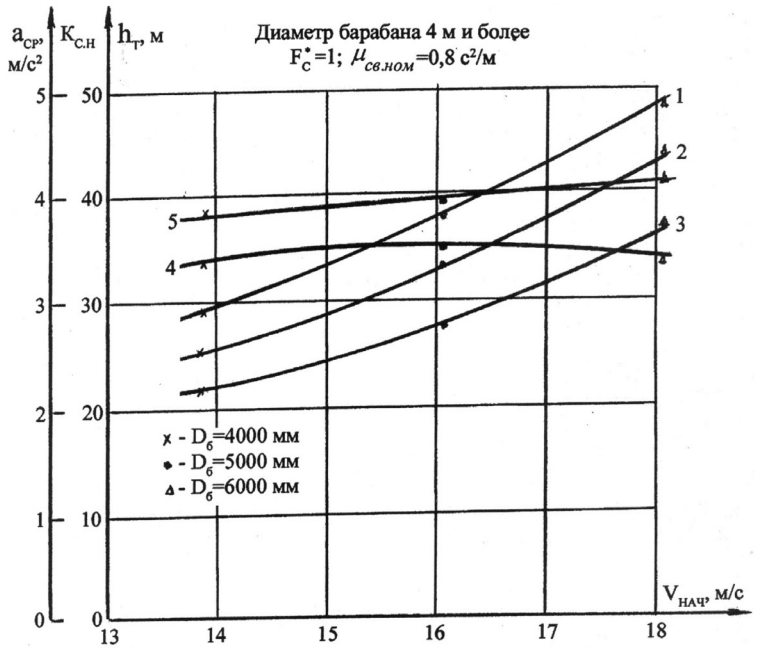

Рис. 2. Зависимости $h_т$, $a_{ср}$, $K_{С.Н} = f(V_{НАЧ})$ при аварийной остановке шахтной подъемной машины: $1 - h_т = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}5$ с; $K_{С.Н} = 3$; $2 - h_т = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}1$ с; $K_{С.Н} = 3$; $3 - h_т = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}5$ с; $K_{С.Н} = var$; $F^*_{т.д.} = 2$; $a_{ср} = 5$ м/с²; $4 - K_{С.Н} = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}5$ с; $F^*_{т.д.} = 2$; $a_{ср} = 5$ м/с²; $5 - a_{ср} = f(V_{НАЧ})$; $t_{х.х} = 0{,}5$ с; $K_{С.Н} = 3$

Дальнейшее снижение пути торможения возможно, если создать режим одновременного действие механического и электрического тормозов. Время холостого хода при этом минимально и равно $t_{х.х} = 0{,}1$ с, а тормозное усилие, создаваемое режимом динамического торможения, принимается равным 2-х кратному номинальному из-за насыщения двигателя, т.е. $F^*_{т.д.max} = F_{т.д.max} / F_{т.д.ном} = 2$, а коэффициент статической надежности $K_{с.н}$ устанавливается таким, чтобы обеспечивалось максимальное замедление $A_{доп} = 5$ м/с².

Кривые *3* и *4*, представляющие зависимости $h_т$, $K_{с.н} = f(V_{нач})$ и приведенные на рис. 1, характеризуют этот режим. Анализ этих зависимостей показывает, что путь торможения продолжает снижаться, но уже на 50,8% при $V_{нач} = 3{,}45$ м/с и на 33,8% при $V_{нач} = 11{,}5$ м/с. В первом случае коэффициент статической надежности возрос до величины $K_{с.н} = 7{,}5$, а во втором случае – остается равным $K_{с.н} = 3$.

Особую группу составляют крупные подъемные машины с диаметром барабана $D_б = 4$ м и более и рассчитаны они на скорости подъема от $V_{ном} = 13{,}8$ м/с до $V_{ном} = 18{,}4$ м/с [4].

На рис. 2 приведены зависимости $h_т$, $a_{ср}$ и $K_{с.н} = f(V_{нач})$. Кривая *1* зависимости $h_т = f(V_{нач})$ соответствует условию, когда $t_{х.х} = 0{,}5$ с, а $K_{с.н} = 3$. Снижение $t_{х.х}$ до величины $t_{х.х} = 0{,}1$ с и $K_{с.н} = 3$ позволяет, как следует из кривой *2* (рис. 2), снизить путь торможения на 12% и увеличить замедление на 8% независимо от начальной скорости.

Дальнейшее увеличение замедления и снижение пути торможения можно достичь при условии, когда $t_{х.х} = 0{,}1$ с, $F^*_{т.д.max} = 2$, а $K_{с.н} = var$, либо, когда $t_{х.х} = 0{,}5$ с, $F^*_{т.д.max} = 2$, а $K_{с.н} = var$. В первом случае увеличивается скорость холостого хода, а вместе с ней и износ тормозных колодок. Во втором случае скорость холостого хода снижается. Поэтому второй случай является предпочтительным.

В обоих случаях величина замедления максимальна и равна допустимой $A_{доп} = 5$ м/с^2. Анализ кривой *3* показывает, что путь торможения снижается на 12,9,1% при скорости $V_{нач} = 13{,}5$ м/с и на – 11,9% при $V_{нач} = 18{,}4$ м/с.

Кривая *4*, изображенная на рис. 2, показывает на незначительное изменение коэффициента $K_{с.н}$, который приближается к наладочному коэффициенту. Так при скорости $V_{нач} = 13{,}5$ м/с он равен $K_{с.н} = 3{,}45$, а при $V_{нач} = 18{,}4$ м/с – $K_{с.н} = 3$.

Вывод

Реализация режима одновременного действия двух тормозов позволяет не только снизить путь торможения, но и максимальное тормозное усилие, что будет способствовать снижению износа тормозных колодок и обечайки барабана, а следовательно, повышению их ресурса и производительности подъема. Одновременно с этим обеспечивается дублирование механического тормоза электрическим тормозом, что повышает надежность работы подъемной установки.

Показано, что аварийная остановка шахтной подъемной машины при условии, когда $t_{х.х} = 0{,}5$ с, а $K_{с.н} = 3$, не обеспечивает минимальный путь торможения, так как величина замедления при этом не достигает своего максимального (допустимого) значения $A_{доп} = 5$ м/с^2.

Дальнейшие исследования этого режима показали возможность увеличения замедления за счет снижения времени холостого хода до величины $t_{х.х} = 0{,}1$ с. Замедление возрастает, но

остается ниже допустимого. Путь торможения при этом снижается от 23,7% до 14,3% для малых ШПМ и от 12,9% до 10% – для крупных машин в зависимости от начальной скорости $V_{нач}$.

Реализация режима одновременного действия показала возможность дальнейшего увеличения замедления, а следовательно, снижения пути торможения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

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

4. *Димашко А. Д.*, *Гершиков И. Я.*, *Креневич А. А.* Шахтные электрические лебедки и подъемные машины. Справочник. – М.: Недра, 1973. – 364 с.

5. *Корняков М. В.* Защита шахтных подъемных машин от динамических нагрузок при движении подъемного сосуда в стволе: монография – Иркутск: ИрГТУ, 2007. – 164 с.

6. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке полезных ископаемых (№ 599 от 11.12.2013). ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Малиновский Анатолий Кузьмич – доктор технических наук, профессор,
Шаллоев Антон Павлович – магистр,
Сорокина Светлана Александровна – магистр,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: ud@msmu.ru.

UDC 622.67

A.K. Malinovskiy, A.P. Shalloev, S.A. Sorokina

JUSTIFICATION OF SAFETY BRAKE PARAMETERS FOR HOISTING MACHINES IN MINES

It is shown that safety brakes of mine hosting machines, given the idle time $t_{x.x}$ = 0,5 s, and the static reliability factor $K_{с.н}$ = 3, ensure maximum permissible deceleration $A_{доп}$ = 5 m/s^2, and, thus, minimum deceleration track in neither mine.

Reduction in idle time down to $t_{x.x}$ = 0,1 s, allowed better deceleration from 10.7 to 53% for small hosting machines and improved deceleration by 7% for large hoisting machine de-

pending on the initial velocity prior to deceleration. The deceleration track is decreased by 14.3–23.7% for small machines and by 10.7–12.9 for large machines in this case under the same conditions.

By simultaneous reduction in the idle time to the value of $t_{x.x}$ = 0,1 s, and the increase in the static reliability factor $K_{с.н}$ enables maximum deceleration $A_{доп}$ = 5 m/s^2. The deceleration track becomes shorter by 29.1–50.1% for small machines and by 21.1–25.8 for large machines depending on the initial velocity. However, the studies have shown that the static reliability factor $K_{с.н}$ first grows to a value of $K_{с.н}$ = 10,5 at the initial velocity $V_{нач}$ = 3,45 m/s, and then lowers down to $K_{с.н}$ = 4,4 as the initial velocity increases to $V_{нач}$ = 11,5 m/s.

For large machines, the static reliability factor $K_{с.н}$ ranges from $K_{с.н}$ = 4,1 at the velocity $V_{нач}$ = 13,8 , m/s, to $K_{с.н}$ = 3,75 as the initial velocity grows to $V_{нач}$ = 18,4 m/s.

The increase $K_{с.н}$ entails intense wear of brake shoes and, as a consequence, the loss of their life.

Concurrent mechanical and electrical braking action also allows maximum deceleration $A_{доп}$ = 5 m/s^2. In the capacity of an electric brake, the hoisting motor is used in the mode of dynamic deceleration with separate excitation, the maximum force F*т.д.max = 2 is ensured by including auxiliary resistor rotor in the circuit. The minimum deceleration track for small machines is achieved by setting $t_{x.x}$ = 0,1 s, and the static reliability factor $K_{с.н}$ varies from $K_{с.н}$ = 7,5 to $K_{с.н}$ = 3. For large, machines, $t_{x.x}$ = 0,5 s, is set, and the static reliability factor $K_{с.н}$ ranges between $K_{с.н}$ = 3,5 and $K_{с.н}$ = 3 , which enables reduction in wear of brake shoes at the increased initial velocity and the extended life cycle.

Key words: mine hoisting machine, synchronized action mode, dynamic deceleration, life, shell ring, brake shoe.

AUTHORS

Malinovskiy A.K.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
Shalloev A.P.[1], Magister,
Sorokina S.A.[1], Magister,
[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

REFERENCES

1. Malinovskiy A. K. *Elektrika*. 2013, no 3, pp. 40–44.

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

3. Bezhok V.R., Chayka V.N., Kuz'menko N.F. *Rukovodstvo po revizii, naladke i ispytaniyu shakhtnykh pod"emnykh ustanovok* (Guidelines on inspection, setting-up and testing of mine hoisting machines), Moscow, Nedra, 1982, 91 p.

4. Dimashko A. D., Gershikov I. Ya., Krenevich A. A. *Shakhtnye elektricheskie lebedki i pod"emnye mashiny*. Spravochnik (Mine electric winches and hoisting machines. Handbook), Moscow, Nedra, 1973, 364 p.

5. Kornyakov M. V. *Zashchita shakhtnykh pod"emnykh mashin ot dinamicheskikh nagruzok pri dvizhenii pod"emnogo sosuda v stvole*: monografiya (Protection of mine hoisting machines from dynamic loading exerted by moving hoists in shafts: monograph), Irkutsk, IrGTU, 2007, 164 p.

6. *Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh rabot i pererabotke poleznykh iskopaemykh»* (№ 599 ot 11.12.2013) (Federal Norms and Regulations in the Area of Industrial Safety: Regulations for Mineral Mining and Processing Safety(no 599 from 11.12.2013)).