

УДК 622.67

А.К. Малиновский, А. Мазлум

**АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО
ТОРМОЖЕНИЯ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ
МАШИН**

Семинар № 22

Современная шахтная подъемная установка (ШПУ) – это сложный электромеханический комплекс, играющий важную роль в обеспечении нормального функционирования шахты. Выход из строя подъемной установки влечёт за собой нарушение рабочего процесса шахты, а также может быть причиной несчастных случаев.

Наблюдаются также неисправности, требующие остановки подъемной машины. К ним относятся регулярная смена тормозных колодок механического тормоза, вызванная постоянным их износом. Наиболее интенсивный износ тормозных колодок происходит при аварийной остановке подъемной машины (ПМ), когда они накладываются на обод подъемного барабана при номинальной скорости движения подъемных сосудов, а подъемный двигатель работает на естественной механической характеристике. Аварийная остановка ПМ вызывается срабатыванием не только аппаратуры защиты подъемного двигателя или исчезновения напряжения питающей сети, но и при превышении скорости движения подъемных сосудов. Наличие ограничителя скорости обеспечивает в этом случае отключение подъемного двигателя и наложению тормозных колодок к ободу барабана при скорости, превышающей номинальную скорость на 15 %. Это приводит к ещё большему износу тормозных колодок,

что уменьшает их межремонтный срок. В результате этого снижается производительность шахты в целом.

Повысить надёжность работы ШПУ можно за счёт дублирования предохранительного тормоза. Учитывая невозможность применения второго механического тормоза, дублирование предохранительного тормоза можно производить электрическим тормозом путём перевода подъемного двигателя в режим электродинамического торможения. Это стало возможным с разработкой новых схем электродинамического торможения асинхронного двигателя с фазным ротором, позволяющих создать тормозной момент без внешнего источника постоянного тока.

Кроме того, наличие режима холостого хода при аварийной остановке ШПМ, приводит к тому, что в этот период подъемная машина работает в режиме свободного выбега, т.е. является неуправляемой. Заполнение режима свободного выбега режимом электродинамического торможения, позволяет организовать режим одновременного действия двух видов тормозов электродинамического и механического. Такой режим получил название режим одновременного действия (РОД). РОД электродинамического и механического тормозов позволяет не только продублировать предохранительный тормоз, при выходе последнего из строя, но и

снизить время и путь торможения, что особенно важно, уменьшить время нахождения тормозных колодок или другого тормозного устройства в соприкосновении с ободом барабана, а следовательно, угол поворота барабана, находящегося под воздействием тормозного устройства. Это позволяет снизить износ тормозных колодок предохранительного тормоза и повысить их срок службы.

При вертикальном подъёме или при угле подъёма с углом наклона горной выработки более 50° Правилами безопасности (ПБ) установлена допустимая величина замедления при предохранительном торможении при подъёме груза не более $a_{\text{доп}} = 5 \text{ м/с}$. Согласно Правилам технической эксплуатации (ПТЭ) величина коэффициента статической надёжности предохранительного тормоза должна быть не менее $K_{С.Н} = 3$ где $K_{С.Н} = M_{\text{т.м.макс}}/M_c$; $M_{\text{т.м.макс}}$ - максимальный момент механического тормоза; M_c - момент статических сопротивлений на коренном валу, создаваемому разностью натяжений ветвей канатов) при вертикальном подъёме и при подъёме с углом наклона горной выработки 30° и более [1].

Как было показано выше, износ тормозных колодок зависит от времени нахождения последних в соприкосновении с ободом барабана, начальной скорости и усилия на тормозных устройствах, и направлением движения груза. Максимальное усилие тормозных колодок на обод барабана определяется коэффициентом статической надёжности, который не зависит от типоразмера ШПМ и принимается равным $K_{С.Н} = 3$, начальной скорости, при которой начинается предохранительное торможение,

и изменяется от 3 м/с до 18 м/с в зависимости от типоразмера ШПМ.

Максимальное время нахождения тормозного устройства в соприкосновении с ободом барабана ПМ в первую очередь зависит от пути торможения. Найдём зависимость числа оборотов или угла поворота барабана ПМ, находящегося под действием тормозного устройства. С этой целью исследуем переходный процесс предохранительного торможения при подъёме и спуске груза для всех типоразмеров ШПМ.

Процесс предохранительного торможения описывается следующим дифференциальным уравнением

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = \pm F_c - F_{\text{т.м}}(t), \quad (1)$$

где m - суммарная масса движущихся частей подъёмной установки, приведенная к ободу барабана; F_c - усилие статических сопротивлений; $F_{\text{т.м}}(t)$ - усилие, создаваемое тормозным устройством.

Ведём в выражение (1) коэффициент массивности. Тогда будем иметь

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{\mu_{\text{св.ном}}} \cdot \left[\pm 1 - \frac{F_{\text{т.м}}(t)}{F_c} \right], \quad (2)$$

где $\mu_{\text{св.ном}} = m/F_c$ - коэффициент массивности.

Учитывая коэффициент надёжности, который принимается равным $K_{С.Н} = 3$, можно определить коэффициент массивности $\mu_{\text{св.ном}}$, если принять безынерционность механического тормоза и максимальную величину замедления, равную $a_{\text{доп}} = 5 \text{ м/с}^2$.

Коэффициент массивности при этом будет:

при подъёме груза $\mu_{\text{св.ном}} = 0,8 \text{ с}^2/\text{м}$ и $\mu_{\text{св.ном}} = 1,33 \text{ с}^2/\text{м}$ - при спуске груза.

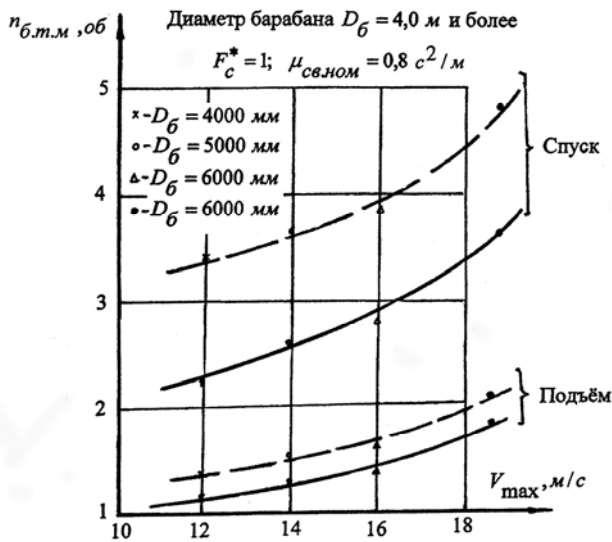


Рис. 1. Зависимость числа оборотов барабана $n_{б.т.м.}$ находящегося под действием механического тормоза от максимальной скорости V_{max} движения подъемных сосудов

$$\text{где } F_{тм}^* = \frac{F_{тм}}{F_c};$$

$$F_{тм.max}^* = \frac{F_{тм.max}}{F_c};$$

F_c - расчётное статическое усилие, в соответствии с которым производится наладка тормозного устройства.

Решая уравнение (1) относительно $T_{т.м.}$, получаем

$$T_{тм} = \frac{t_H}{\ln \frac{K_{с.н}}{K_{с.н} - 1}} \quad (4)$$

Если в формулу (4) подставить время нарастания тормозного усилия $t_H = 0,3$ с, что требуется по ПБ, и $K_{с.н} = 3$, то можно определить постоянную времени предохранительного тормоза

$$T_{тм} = \frac{0,3}{\ln \frac{3}{3-1}} = 0,75 \text{ с.}$$

Учитывая возможную перегрузку подъемных сосудов на 10 %, величина постоянной времени будет $T_{т.м.} = 0,65$ с.

На рис. 1 приведены зависимости числа оборотов барабана $n_{б.т.м.}$ находящегося под действием предохранительного тормоза в период аварийной остановки ПМ от максимальной скорости движения V_{max} при подъёме и спуске груза для малых подъемных машин.

Кривые 1 соответствуют случаю аварийного торможения под действием безынерционного механического тормоза, как при подъёме, так и при спуске груза.

Согласно стандартному ряду барабанных шахтных подъемных машин предусмотрена классификация всех типоразмеров машин: на малые подъемные машины с диаметром барабана от $D_{б.} = 1,2$ м до $D_{б.} = 3,5$ м по ГОСТ 19114-72 и крупные подъемные машины с диаметром барабана $D_{б.} = 4,0$ м и более по ГОСТ 18115-72 [2, 3].

Принимая экспоненциальный закон нарастания тормозного усилия предохранительного тормоза, необходимо знать величину его постоянной времени. Механическая постоянная времени $T_{т.м.}$ предохранительного тормоза может быть определена, если известно время нарастания тормозного усилия до величины, равной статическому усилию. При сдаче подъемной установки в эксплуатацию тормозное усилие должно быть отлажено в соответствии с ПБ, исходя из времени нарастания тормозного усилия t_H [1].

Так как

$$F_{тм}^* = F_{тм.max}^* \cdot \left[1 - \exp \left(-\frac{t_H}{T_{тм}} \right) \right], \quad (3)$$

Анализ, представленных зависимостей, показывает, что число оборотов барабана, находящегося под действием механического тормоза увеличивается при инерционной механической системе по сравнению с безынерционной в обоих случаях движения груза.

Так, например, для подъемных машин с максимальной скоростью $V_{\max} = 3,45$ м/с число оборотов барабана $n_{б.т.м}$, находящегося под воздействием тормозных колодок механического тормоза увеличивается на 26 % при подъеме груза. Этот же показатель для подъемных машин с максимальной скоростью $V_{\max} = 11,5$ м/с увеличивается в 1,23 раза.

Результаты расчетов режима аварийной остановки малых подъемных машин при спуске груза с инерционным механическим тормозом и коэффициентом статической надежности $K_{С.Н} = 3$ показывают также на увеличение числа оборотов барабана $n_{б.т.м}$ в 2,31 раза по сравнению с аварийной остановкой безынерционным

тормозом для подъемных машин с максимальной скоростью $V_{\max} = 3,45$ м/с. Что же касается подъемных машин, рассчитанных на максимальную скорость $V_{\max} = 11,5$ м/с, этот показатель увеличивается в 1,6 раз. В абсолютных величинах число оборотов барабана, находящегося под действием механического тормоза, увеличивается с $n_{б.т.м} = 1,21$ об. - для машин с диаметром барабана $D_б = 1,2$ м до $n_{б.т.м} = 3,74$ об. - для подъемных машин с диаметром барабана $D_б = 3,5$ м.

Полученная в результате расчетов зависимость $n_{б.т.м} = f(V_{\max})$ при аварийной остановке подъемной машины, работающей на спуск груза, также представлена на рис. 1 и наглядно показывает разницу между торможением безынерционным и инерционным тормозами.

Рис. 2. Зависимость числа оборотов барабана $n_{б.т.м}$ находящегося под действием механического тормоза от максимальной скорости V_{\max} движения подъемных сосудов

Результаты расчета аналогичного показателя аварийной остановки ШПМ с диаметром барабана $D_б = 4,0$ м и более с безынерционным и инерционными тормозами при подъеме и спуске груза приведены на рис. 2. Анализ зависимостей $n_{б.т.м} = f(V_{\max})$ показывает, что увеличение диаметра барабана и максимальной скорости движения подъемных сосудов приводит к дальнейшему увеличению числа оборотов барабана, находящегося под действием механического тормоза с инерционной системой по сравнению с безынерционной системой. Так, например, для ШПМ с диаметром барабана $D_б = 4,0$ м и более число оборотов барабана, находящегося под тормозом увеличивается на (4-16) % в зависимости от максимальной скорости при подъеме груза и на (33-45) % - при спуске груза.

Выводы

Проведенные исследования показывают, что:

- все существующие шахтные подъемные установки, работающие с коэффициентом статической надежности $K_{С.Н} = 3$ механического тормоза, не могут обеспечить максимальное замедление $a_{\max} = 5$ м/с² при подъеме груза в связи с наличием времени холостого хода и экспоненциального закона нарастания тормозного усилия. Это обстоятельство увеличивает путь торможения, а следовательно, время нахождения тормозных колодок в соприкосновении с ободом барабана, что увеличивает Интенсивность их износа;

- достичь максимальной (допустимой) величины замедления $a_{\max} = 5$ м/с² при подъеме груза и минимальной вели-

чины замедления при спуске груза для любого типоразмера шахтных подъемных машин возможно путём реализации

режима одновременного действия электродинамического и механического тормозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок* /В.Р. Бежок, Б.И. Чайка, Н.Ф. Кузьменко и др. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 931 с.

2. *Димашко А.Д., Гершиков И.Я.,*

Кривневич А.А. Шахтные электрические лебёдки и подъемные машины. Справочник. – М.: Недра, 1973. – 364 с.

3. *Песвианидзе А.В.* Расчёт шахтных подъемных установок. – М.: Недра, 1992. – 250 с. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Малиновский Анатолий Кузьмич - профессор, доктор технических наук,
Мазлум Анвар – аспирант,
Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 22 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.В. Ляхомский*.

