



**В. А. ТРИБУХИН,**  
канд. техн. наук  
(ПАО «НИИГМ  
им. М. М. Федорова»)

**Н**ИИГМ им. М. М. Федорова – ведущая научная организация по созданию и совершенствованию стационарных установок шахт. Наиболее значимы для ритмичной работы горного предприятия, бесперебойной транспортировки людей и грузов по вертикальным стволам подъемные установки. Общепринятая в горнодобывающей промышленности тенденция, обусловленная экономической целесообразностью, – концентрация грузопотоков на крупных стволах, оборудованных высокопроизводительными подъемными комплексами. В настоящее время эксплуатируются мощные подъемные комплексы, способные поднимать со скоростью свыше 16 м/с скипы грузоподъемностью 50 т, перемещать в клетях одновременно до 100 пассажиров. Прогресс в развитии конструирования машин ведет к снижению их металлоемкости, а следовательно, и массивности. Чем меньше масса подъемной машины и чем больше масса поднимаемого груза, тем эффективнее подъемная установка. Это достигается использованием современных конструктивных материалов и прогрессивных решений при создании машин. Например, все более широко при-

## Некоторые проблемы шахтного подъема и пути их решения

меняют безредукторные машины с тихоходными двигателями.

С одной стороны, уменьшение приведенной массы установки снижает динамические нагрузки, что способствует повышению долговечности машины, с другой – возрастает ускорение свободного выбега и существующие тормозные системы, которые настраиваются на создание определенного тормозного усилия, не изменяемого от значения и знака концевой нагрузки, в ряде случаев не могут обеспечить интервал замедлений предохранительного торможения в пределах, нормируемых Правилами безопасности. Кроме того, уже при концевых нагрузках порядка 150–200 кН, скорости подъема 10 м/с и более возникают проблемы отвода тепла и перегрева тормозных колодок и ободьев машины. Зафиксированы аварии, связанные с переподъемом сосудов из-за потери фрикционных свойств прессмассовых тормозных колодок вследствие перегрева, со скольжением головных канатов по приводному шкиву многоканатных машин и др.

Один из наиболее эффективных путей решения перечисленных проблем – оснащение крупных подъемных машин многомодульными аксиальными дисковыми тормозными устройствами с системами автоматически регулируемого предохранительного торможения взамен традиционных тормозных

устройств с радиальным прижатием тормозных колодок к ободу. Такое решение существенно повышает технический уровень машин, делает их более конкурентоспособными. Свидетельство этому – широкое использование дисковых тормозных устройств зарубежными фирмами – производителями подъемных машин.

НИИГМ им. М. М. Федорова внес значительный вклад в решение актуальных задач, возникших при разработке и создании высокопроизводительных отечественных подъемных комплексов, оснащенных подъемными машинами с многомодульными дисковыми тормозными устройствами, а также в решение задач по обеспечению их безопасной эксплуатации.

С начала 70-х годов в рамках главной темы «Создание новых и модернизация действующих стационарных установок (подъемных...) и систем обслуживания и ремонта, обеспечивающих значительное повышение их эффективности и безопасности работ», специалисты института выполнили комплекс научно-исследовательских работ. Наиболее важными стали работы, направленные на создание и освоение производства дисковых быстродействующих тормозных устройств с регулируемым предохранительным торможением для шахтных подъемных машин; на разработку, освоение серийного производства и внедрение

многоканатной подъемной машины ЦШ-4×4Д, а также разработку ряда методических и других руководящих технических материалов (РТМ), в частности, Методических указаний [1], Руководства [2] и др.

Научно-исследовательские работы по созданию новых машин и технологий продолжаются и в настоящее время. При их выполнении проводятся многочисленные теоретические и экспериментальные исследования на специально созданных для этого стендах и на шахтах. При теоретических исследованиях используются разработанные в институте математические модели, описывающие подъемную установку как многомассовую систему с сосредоточенными и распределенными параметрами. На моделях продолжаются исследования динамики переходных процессов шахтных подъемных установок в целях разработки более совершенных алгоритмов работы систем управления приводом и предохранительным тормозом. Достоверность результатов моделирования экспериментально проверяется на шахтах.

Много работ посвящено определению оптимального закона нарастания тормозного усилия. Один из основных выводов, к которому пришли исследователи: для снижения динамических усилий в канате тормозное усилие должно нарастать плавно. Иногда это требование противоречит нормативам на быстродействие предохранительного тормоза. Более глубокие исследования показали, что при дискретном управлении тормозными модулями есть возможность гашения колебаний, вызванных отключением двигателя, т. е. таким образом осуществлять более интенсивные режимы торможения. Разработаны алгоритмы управления многомодульным дисковым тормозом.

Результаты исследований позволили определить наиболее рациональные конструктивные параметры приводного элемента дискового тормоза (давление рабочей жидкости, активная площадь поршня, площадь фрикционной накладки, проходные сечения трубопроводов и гидрораспределительной аппаратуры и др.). Рассчитаны теоретически и проверены практически характеристики быстродействия тормозного модуля. Сформулированы основные требования к дисковому тормозному устройству.

При разработке системы управления дисковым тормозом решены проблемы, связанные с односторонним регулированием тормозного момента. Действующие требования допускают только наращи-

вание тормозного момента при предохранительном торможении, но не допускают его уменьшение. Суть проблемы заключается в том, что мгновенные значения замедления, вследствие упругих колебаний усилий в канатах, существенно отличаются от средних значений. По этой причине при автоматическом управлении процессом предохранительного торможения неизбежно возникает перерегулирование тормозного момента, и замедление машины превышает заданное значение.

В сотрудничестве с институтом «Автоматуглерудпром», конотопским заводом «Красный металлист», МакНИИ, ОАО «Донецкгормаш» и другими предприятиями и организациями НИИГМ им. М. М. Федорова разработана система управления дисковым тормозом, обеспечивающая выполнение нормативных требований. Система обеспечивает аналоговое рабочее торможение с помощью регулятора высокого давления (РВДЭГ), и дискретное предохранительное торможение, когда каждый тормозной модуль вводится в действие индивидуальным гидрораспределителем. Команды на отключение гидрораспределителей формируются системой автоматически регулируемого предохранительного торможения (АРПТ) в функции замедления или по заданной программе в зависимости от выбранного режима работы системы.

Указанной системой оснащен опытный образец многоканатной подъемной машины ЦШ-4×4Д с дисковым тормозом. Приемочными испытаниями опытного образца машины с системой АРПТ подтверждены реальные преимущества дисковых тормозов в сравнении с радиальными тормозами:

- более высокое быстродействие;
- отсутствие шарнирных узлов, что определяет высокий КПД и стабильность характеристик;
- хорошее охлаждение диска, что дает возможность реализовывать интенсивные режимы торможения;
- более благоприятное распределение удельных давлений фрикционной накладки;
- высокая надежность и ремонтпригодность;
- модульный принцип построения, определяющий высокую унификацию узлов и деталей;
- высокие регулировочные характеристики, позволяющие создавать требуемый закон нарастания тормозного усилия.

По результатам исследований и промышленных испытаний шахтной подъемной машины ЦШ-4×4Д с дисковым тормозным устройством и ком-

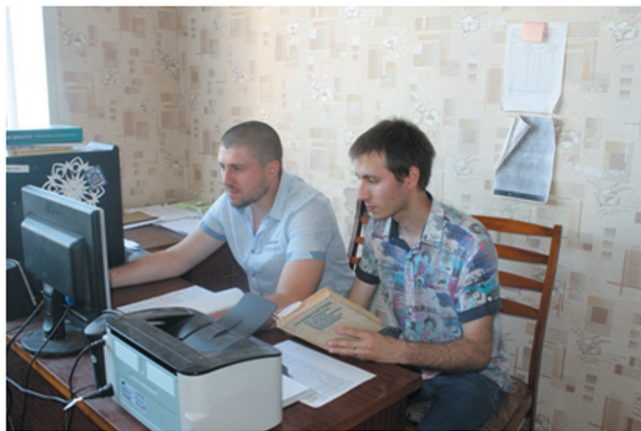
плексом АРПТ на шахте им. IX пятилетки было установлено:

подъемная машина ЦШ-4×4Д осуществляет спуск – подъем груза и режимы предохранительного торможения, предусмотренные техническим заданием, технической документацией, соответствует заданным техническим характеристикам и может быть передана в промышленную эксплуатацию;

параметры тормозных характеристик каждого из 16 элементов дискового тормоза в режиме предохранительного торможения при рабочем зазоре между колодкой и диском 1 мм: время холостого хода – 0,15 с; время установления максимального тормозного усилия – 0,31 с; время растормаживания – 0,63 с;

комплекс АРПТ обеспечивает управление гидроприводом дискового тормоза в режимах предохранительного торможения при подъеме и спуске груза (противовеса), поддерживает замедление на установленном уровне и может быть передан в промышленную эксплуатацию (в исследованной области  $a = 1...2 \text{ м/с}^2$ , погрешность отработки заданного замедления до 18 %);

в режимах предохранительного торможения при подъеме и спуске груза (противовеса) при скорости движения скипа 10 м/с параметры тормозных характеристик ЦШ-4×4Д: время холостого хода тормоза – 0,15 с; время срабатывания тормоза – 0,23 с. Указанные параметры соответствуют требованиям Правил безопасности. В ходе промышленных испытаний регулятор высокого давления РВДЭГ, разработанный специалистами НИИГМ, показал хорошую работоспособность, надежность, быстродействие и точность регулирования.



**Рис. 1.** Сотрудники лаборатории эксплуатации и ремонта шахтных подъемных установок.

В целом новая тормозная дисковая система и аппараты управления (АРПТ, модули, регулятор давления РВДЭГ) работоспособны, соответствуют требованиям технического задания, параметрам проектных характеристик и рекомендованы к промышленному производству.

Результаты испытаний позволили также сформулировать направления дальнейшего совершенствования дисковых тормозов.

Целесообразно изыскать резервы снижения габаритов и металлоемкости тормозных элементов при сохранении силовых характеристик, а также решить задачи по обоснованию области применения автоматически регулируемой системы управления предохранительным тормозом и системы программного управления.

Кроме опытного образца машины ЦШ-4×4Д, на ОАО «Донецкгормаш» изготовлены еще две машины с дисковым тормозом. В силу объективных причин завод не освоил весь типоразмерный ряд дисковых тормозов и не наладил их серийное производство. В настоящее время подъемные машины комплектуются дисковыми тормозами импортного производства. Институт готов к сотрудничеству с заводами-производителями подъемных машин, чтобы возобновить производство многомодульных дисковых тормозных устройств украинского производства.

Парк подъемных машин с дисковым тормозом возрастает, несмотря на сложное экономическое положение в горнодобывающих отраслях. Характер нарастания тормозного усилия быстродействующего многомодульного дискового тормоза существенно отличается от традиционных радиальных тормозов и зависит от алгоритма, реализуемого системой управления.

Существующая нормативная база, регламентирующая требования к тормозным устройствам и процессу предохранительного торможения, не учитывает эти особенности. Поэтому при внедрении и наладке новых тормозных систем возникают проблемы, связанные с тем, что не всегда можно определить фактические значения нормируемых параметров, а формальное выполнение требований действующих нормативов не всегда гарантирует безопасность эксплуатации подъема.

Обозначенные проблемы обусловлены отставанием нормативной базы от усовершенствованного оборудования подъемных комплексов шахт, что сказывается на обеспечении безопасности эксплуатации. Специалисты НИИГМ им. М. М. Федорова



решают задачу корректировки нормативной базы применительно к подъемным машинам, оснащенным многомодульными дисковыми быстродействующими тормозными устройствами. Разработаны предложения по изменению действующих Правил безопасности в части нормирования параметров процесса предохранительного торможения шахтных подъемных машин с дисковым тормозом.

Особенность многоканатных подъемных установок – подвеска подъемного сосуда на нескольких головных канатах. Для их нормальной работы неравномерность распределения концевой нагрузки между канатами не должна превышать установленных норм. Действующие нормативы требуют периодически контролировать распределение нагрузки между канатами и (при необходимости) регулировать длину и радиусы их навивки в зависимости от результатов контроля. Используемые методы разработаны около 20 лет назад. Они трудоемки и требуют значительных затрат времени. Качество контроля и регулировок существенно зависит от квалификации обслуживающего персонала. Невыполнение нормативных требований к равномерности распределения нагрузки между канатами приводит к резкому сокращению сроков эксплуатации футеровки приводного шкива, канатов, нарушению безопасности эксплуатации подъемного комплекса. В этой связи актуальна разработка новых технических средств без отмеченных недостатков.

Учитывая интенсивность работы подъемных установок, применяемые способы контроля и регулировки натяжений канатов должны быть простыми, надежными и нетрудоемкими.

Для контроля натяжения канатов до настоящего времени на шахтах Украины применяется волновой способ, изложенный в РТМ 07.01.015–82, разработанном НИИГМ им. М. М. Федорова в 1982 г. Сейчас в институте разрабатываются новые системы контроля сил в головных канатах многоканатной подъемной установки, основанные на непрерывном измерении усилий в этих канатах, и передаче данных по радиосвязи от сосуда во время выполнения рабочего цикла подъема. Измеренные данные можно также временно сохранять в памяти контроллера, установленного на подъемном сосуда, и передавать из буфера памяти по индуктивной связи во время паузы, когда сосуд находится на верхней приемной площадке. Обработать полученные результаты измерений, сравнивать параметры с нормативными значениями, рассчитывать

параметры регулировки длин и радиусов навивки канатов следует с помощью специальной программы.

Алгоритмы расчета параметров регулировки распределения нагрузки между головными канатами многоканатной подъемной установки разработаны на основе анализа закономерностей формирования усилий в канатах при движении сосудов в стволе. С их помощью можно реализовать эффективную систему непрерывного контроля распределения нагрузки между головными канатами многоканатной подъемной машины. Такая система позволит в полной мере выполнить требования нормативной документации, сократить затраты средств и времени на выполнение работ по контролю и регулировке распределения нагрузки между головными канатами, повысить долговечность эксплуатации головных канатов и футеровки приводного шкива многоканатного подъема. Институт готов к научно-техническому сотрудничеству с предприятиями, заинтересованными в освоении производства такой системы.

Институт тесно сотрудничает с горными предприятиями и активно решает задачи, возникающие в процессе эксплуатации стационарного оборудования. Сократившиеся из-за сложившейся в угольной отрасли ситуации работы по разработке и внедрению новой техники вынуждены компенсировать работами по обеспечению безопасной работы оборудования, исчерпавшего нормативный срок эксплуатации. Поэтому проводятся исследовательские работы по определению остаточного ресурса машин, совершенствуются методы диагностики технического состояния стационарного оборудования шахт.

НИИГМ им. М. М. Федорова сохраняет высокий научно-технический потенциал и готов решать самые сложные задачи по созданию новой техники и технологий, а также по эксплуатации, обслуживанию и ремонту стационарного оборудования, находящегося во всех горнодобывающих предприятиях Украины и других стран.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Методические указания к расчету тормозного момента и проверочному расчету на скольжение канатов в режимах предохранительного торможения подъемных машин со шкивами трения* / НИИГМ. – Донецк, 1989. – 154 с.
2. *Руководство по контролю и регулировке распределения нагрузки между головными канатами многоканатных подъемных установок*: РТМ 07.01.015–82 / НИИГМ. – Донецк, 1982. – 39 с.