

УДК 622.621

Е. М. ФЕДОРОВ, *ст. науч. сотрудник, МакНИИ, г. Макеевка*

К ВОПРОСУ МОДЕРНИЗАЦИИ И СОЗДАНИЯ НОВЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОДЪЕМА С УЧЕТОМ РЕЖИМА ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Проанализированы параметры модернизируемого вертикального подъема, влияющие на безопасность протекания предохранительного торможения. Рассмотрены основные направления совершенствования предохранительного тормоза, ограничителя скорости, электропривода. Разработаны предложения по модернизации и созданию новых подъемных машин для вертикальных стволов.

Ключевые слова: модернизация, ограничитель скорости, подъемная машина, жесткая посадка, переподъем, защитная тахограмма, рабочая тахограмма, предохранительный тормоз.

В настоящее время в связи с увеличением глубины разработки полезных ископаемых и рядом других причин появилась необходимость роста глубины вновь проходимых и находящихся в эксплуатации вертикальных стволов, повышения грузоподъемности подъемных сосудов и скорости их движения. При решении этих задач возникает ряд проблем, например:

- рост угла девиации струны подъемного каната при углубке вертикальных стволов вследствие необходимости применять подъемные машины с большей шириной барабана. Для уменьшения угла девиации на некоторых шахтах Кривбасса увеличили высоту копра или переоборудовали барабанную машину в наземную многоканатную [1];

- повышение угла поворота подъемного сосуда на вертикальных подъемах, оборудованных гибкой армировкой, вследствие роста концевой нагрузки и увеличения глубины ствола. Для устранения этого явления МакНИИ по запросам шахт осуществлял расчет гибкой армировки с определением максимально допустимого коэффициента кручения подъемного каната, на основании которого производился выбор нового подъемного каната;

- плохое состояние жесткой армировки на некоторых шахтах препятствует увеличению скорости движения подъемных сосудов при реконструкции подъема. Например, на шахте им. Ленина ОАО «Кривбассжелезрудком» (шахта им. Ленина) скорость движения подъемной машины со-

ставляет 10 м/с при проектной 14 м/с [2]. После замены подъемной машины появилась возможность дальнейшего роста скорости. Однако при существующем состоянии армировки это невозможно реализовать [2].

В настоящее время накоплен опыт решения перечисленных и некоторых других вопросов. Однако наибольшим препятствием на пути модернизации действующих или сооружения новых высокопроизводительных подъемов является несовершенство характеристик отечественных подъемных машин. Они являются металло- и энергоемкими, требуют участия рабочего тормоза и т.д.

Подъемные машины, используемые на вертикальных стволах многих шахт Украины, физически изношены и морально устарели, в связи с чем необходима их замена или модернизация. Наиболее успешно осуществляется модернизация электрической части подъемных машин. За последние 5 – 10 лет произошло кардинальное улучшение элементной базы вновь создаваемых систем управления и защит подъемных машин. Это позволило создать ограничители скорости, системы электропривода, указатели глубины, регистраторы параметров и т.д. с более совершенными или новыми характеристиками [3, 4].

В случае роста глубины ствола и концевой нагрузки при модернизации вертикальной подъемной установки ее параметры, влияющие на безопасность протекания предохранительного торможения, изменяются. Поэтому возникает необходимость улучшения тормозных характеристик. На отечественных подъемных машинах это осуществить не удалось. Не был решен вопрос взаимного учета характеристик подъема (электропривода, ограничителя скорости, ускорения свободного выбега и т.д.) и тормоза для обеспечения безопасного протекания режима предохранительного торможения. Это затруднило модернизацию подъемных машин и разработку их новых конструкций. Обеспечение безопасного протекания режима предохранительного торможения ранее достигалось за счет значительного ухудшения технико-экономических показателей работы подъема.

В работах [5, 6] на примере защиты от жесткой посадки показано, что на безопасность протекания предохранительного торможения влияют характеристики не только предохранительного тормоза и ограничителя скорости, но также электропривода.

Целью работы является разработка рекомендаций по модернизации и созданию новых отечественных подъемных машин вертикального эксплуатационного и проходческого подъема с учетом режима предохранительного торможения, корректировка требований действующих норм к характеристикам предохранительного тормоза, ограничителя скорости и электропривода.

Безопасное протекание предохранительного торможения зависит от скорости движения сосудов, при которой был включен предохранительный тормоз, и их положения в стволе. В случае возникновения предохранительного торможения во время разгона поднимающегося груза в нижней части ствола оно зависит от величины ускорения. Большое влияние на безопасность протекания предохранительного торможения влияют ускорение свободного выбега подъемной установки и характеристики ее тормоза. Таким образом, следует проанализировать рабочую тахограмму. Далее необходимо рассмотреть возможность формирования рабочей тахограммы применительно к существующим и вновь вводимым системам электропривода разработать рекомендации по их выбору. Затем следует проанализировать возможность и целесообразность контроля скорости (ускорения) ограничителем скорости на всех участках движения. Решение следующей задачи – разработка рекомендаций по выбору тормозных систем для установок с большим ускорением свободного выбега – должно осуществляться с учетом выполненного анализа по выбору систем электропривода и характеристик ограничителя скорости.

Модернизацию подъемных машин по отношению к режиму предохранительного торможения условно можно разделить на два типа. При модернизации первого типа не меняется ускорение свободного выбега, один из основных параметров подъема, влияющих на безопасность протекания предохранительного торможения. В случае модернизации второго типа происходит его увеличение. В пределах последних нескольких лет на шахтах были осуществлены оба типа модернизации с установкой современного оборудования [2, 7].

Во время модернизации первого типа корпорацией «Харьковский электрощитовой завод - Элетекс – С» была заменена электрическая часть подъемных машин, установленных на шахтах «Юбилейная», «Степная» и им. Героев космоса ОАО «Павлоградуголь». В результате характеристики ограничителей скорости, электропривода были существенно улучшены. Кардинально усовершенствованы характеристики остального электрооборудования подъемных машин (указатель глубины, самопишущий скоростемер и т.п.), появились новые функции (регистрация и сохранение параметров подъема и т.п.). Это позволило повысить безопасность функционирования подъемных машин в режиме предохранительного торможения.

Без модернизации первого типа невозможно осуществить модернизацию второго типа, т.к. она служит ее первой ступенью (более точные сигналы скорости, ускорения и местоположения сосуда в стволе, формирование электроприводом ползучей скорости, совершенствование характеристик ограничителя скорости и т.д.). Рассмотрим результаты и перспективы модернизации первого типа. Применительно к электроприводу к ним относятся:

снижение расхода электроэнергии (до 25 % и более). Например, на подъемных машинах с асинхронным электроприводом электроэнергия, расходуемая ранее в роторных сопротивлениях (в режиме движения с ползучей скоростью, разгона и замедления подъемной машины), возвращается в сеть. В случае установки безредукторного синхронного электропривода, вместо асинхронного с роторными сопротивлениями, экономия электроэнергии возрастает до 40 %. Особенно актуален переход к новым системам электропривода при проходке и углубке стволов (значительную часть цикла проходческого подъема занимают маневровые и погрузочно-разгрузочные операции), а также при наличии промежуточных горизонтов;

возможность достижения устойчивой ползучей скорости рабочей тахограммы (обеспечение безопасного функционирования подъема в режиме предохранительного торможения за счет снижения скорости при которой может возникнуть предохранительное торможение и уменьшение опасности ложных срабатываний ограничителя скорости за счет получения устойчивого значения скорости);

существенное уменьшение объема функционирования рабочего тормоза;

возможность достижения разгона с постоянным замедлением (обеспечение безопасного функционирования подъема в режиме предохранительного торможения за счет уменьшения динамических усилий в канате, т.е. снижение опасности подпрыгивания подъемного сосуда в режиме предохранительного торможения).

Результаты и перспективы модернизации первого типа применительно к ограничителям скорости следующие:

возможность построения несколько защитных тахограмм в зависимости от режима работы подъема («Груз», «Люди», «Ревизия»);

возможность контроля рабочей скорости для произвольной рабочей тахограммы (существующие ограничители скорости контролируют ползучую скорость в начале цикла, не контролируют величину ускорения при разгоне несмотря на то, что максимальная величина ускорения нормируется, не контролируют величину ползучей скорости на пути дотягивания при подходе к нижней приемной площадке);

возможность использования кулаков на промежуточном горизонте ввиду того, что характеристики вновь создаваемых ограничителей скорости позволяют контролировать рабочую скорость на участке подхода к промежуточному горизонту (участки замедления и дотягивания).

Рассмотрим более подробно ряд перечисленных вопросов применительно к рабочей тахограмме и проанализируем находящиеся в эксплуатации и вновь вводимые системы электропривода.

«Руководство...» [4] и нормативы по проектированию предусматривают для скипового и клетового подъемов семипериодную тахограмму (промежуточные горизонты отсутствуют). Она включает (рис. 1): разгон (ускорение не более $0,3 \text{ м/с}^2$) до скорости $0,5 \text{ м/с}$; движение с этой скоростью; разгон (ускорение не более $0,75 \text{ м/с}^2$) от скорости $0,5 \text{ м/с}$ до максимальной скорости равномерного хода; движение со скоростью равномерного хода; замедление (не более $0,75 \text{ м/с}^2$) до скорости $0,5 \text{ м/с}$; движение со скоростью $0,5 \text{ м/с}$; снижение скорости от $0,5 \text{ м/с}$ до 0 (замедление не более $0,3 \text{ м/с}^2$).

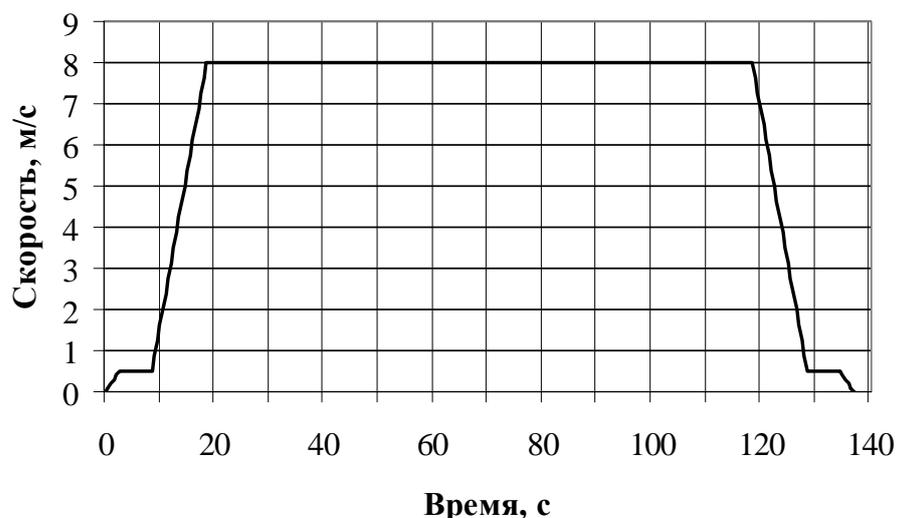


Рис. 1. Семипериодная рабочая тахограмма

В соответствие со вновь введенными требованиями п. 2 гл. 7 разд. VII НПА ОП 10.0 – 1.01 – 10 «Правила безопасности в угольных шахтах» (далее ПБ) [8] движение клетки на пути дотягивания должно осуществляться со скоростью не более $0,25 \text{ м/с}$ при посадке ее на кулаки или брусья. Это требование принято из условия предотвращения жесткой посадки [5, 6]. Со скоростью не более $0,3 \text{ м/с}$ подходит к приемной площадке скип на шахте им. Ленина. Скорость дотягивания должна быть приведена в соответствие с действующими нормами.

С точки зрения безопасности в режиме предохранительного торможения участок движения с ползучей скоростью в начале цикла находится в более благоприятных условиях, чем при подходе подъемного сосуда к нижней приемной площадке. Учитывая, что не все аварийные ситуации можно предсказать, принимаем по аналогии с рис. 1 ползучую скорость рабочей тахограммы ($0,25 \text{ м/с}$ для клетей и $0,3 \text{ м/с}$ для скипов) одинаковой в начале и конце цикла движения. Отметим, что на шахте им. Ленина ползучая скорость одинакова для обоих участков движения. Остальные участки рабочей тахограммы не требуют внесения изменений.

Требования п. 1 гл. 7 разд. VII ПБ [8] предусматривают разную максимально допустимую скорость при перевозке клетями людей (12 м/с) и транспортировки грузов (определяется проектом). Таким образом, целесообразно иметь для каждого режима работы свою рабочую и защитную тахограммы.

При наличии промежуточных горизонтов на клетевом подъеме число периодов (участков движения) увеличивается.

Тахограмма проходческого подъема носит более сложный характер. Максимально допустимая скорость движения бадьи при проходке вертикальных стволов для людей составляет 8 м/с и 12 м/с в случае транспортировки грузов. На участке движения бадьи без направляющих ее скорость не должна превышать 2 м/с (п. 1 гл. 7 разд. VII ПБ [8]). На участке движения бадьи от точки ствола, расположенной на 6 м выше полка (здесь при спуске происходит остановка перед полком), до груди забоя тахограмма движения бадьи имеет ряд периодов. При спуске бадьи сюда следует включить периоды: проход полка со скоростью не более 1 м/с, последующий разгон до скорости 2 м/с и движение с этой скоростью, замедление скорости и остановка бадьи за 6 м до забоя. Далее следуют маневровые и погрузочные операции, которые занимают значительную долю цикла, и т.д. Отметим, что для бадьи дотягивание перед забоем должно осуществляться со скоростью не более 0,3 м/с.

Характеристики электропривода должны обеспечить выполнение рабочей тахограммы с учетом предотвращения ложных срабатываний ограничителя скорости (устойчивость скорости движения), обеспечения высоких технико-экономических показателей и других факторов. С учетом этого рассмотрим существующие и вновь вводимые системы электропривода.

Подъемные машины угольной и горнорудной промышленности, установленные на вертикальных стволах, как отмечено в «Руководстве...» [4], оснащены в основном асинхронными электродвигателями с фазным ротором и металлическим реостатом. При многочисленных достоинствах такого электропривода для шахтного подъема, он имеет ряд существенных недостатков, влияющих на безопасность и экономичность работы подъемной установки. Рассмотрим их.

Для получения ползучей скорости дополнительно используют рабочий тормоз. Скорость движения при этом будет неустойчивой, т.е. при малой разности между рабочей и защитной тахограммами могут возникнуть ложные срабатывания ограничителя скорости.

В режиме разгона момент двигателя изменяется ступенчато (6-8 ступеней), момент электродвигателя колеблется в пределах 1,1-1,8, т.е. имеют место значительные колебания ускорения разгона. Это делает невозможным контроль ускорения разгона. Если предохранительное торможение

возникнет в момент переключения ступеней роторных сопротивлений, то ускорение разгона может значительно превысить допустимое значение.

К недостаткам этого привода относятся также: большая металлоемкость подъемной машины, большой расход электроэнергии. На снижение металлоемкости (использование редуктора и роторных сопротивлений), экономию электроэнергии ранее обращали мало внимания. Более того, на передвижных проходческих подъемных машинах для снижения ускорения свободного выбега подъема устанавливали дополнительные маховики.

При выборе максимальной скорости проходческого подъема ориентировались на максимально допустимую скорость в режиме «Люди». Для прежних глубин стволов это мало влияло на производительность подъема. При глубоких стволах целесообразно использовать разные максимальные скорости в людском и грузовом режимах грузолюдского или проходческого подъема. Тогда во время всего цикла движения в людском режиме необходимо будет использовать роторные сопротивления. Это увеличит расход электроэнергии.

В случае оснащения грузового подъема асинхронными электродвигателями с фазным ротором и металлическим реостатом возникают трудности обеспечения его работы в автоматическом режиме (в режиме «люди» такая задача не ставится). Следует отметить, что имелось около 50-ти подъемов с асинхронным электроприводом, работавших в автоматическом режиме. Для поддержания заданной ползучей скорости в них использовался рабочий тормоз, момент которого регулировался автоматически. Однако большого распространения такой электропривод не получил.

При прежних параметрах подъема, ограничителях скорости и вследствие других факторов недостатки привода с асинхронным электродвигателем с фазным ротором и металлическим реостатом были менее заметны. Действительно, уставка ограничителя скорости на участке движения с ползучей скоростью значительно превышала фактическое значение скорости. Следовательно, ложные срабатывания ограничителя скорости на участках движения с ползучей скоростью отсутствовали. В случае возникновения предохранительного торможения на пути дотягивания при подходе опускающегося подъемного сосуда к жесткому основанию прирост скорости, имеющий место в начальном периоде предохранительного торможения, ранее был небольшим. Это происходило вследствие малых значений ускорения свободного выбега и участия рабочего тормоза в регулировании скорости дотягивания, т.е. наличия предварительного тормозного усилия. Кроме того, для регулирования скорости на этом участке обязательно участие машиниста. Поэтому скорость дотягивания находилась в пределах 0,1 – 0,3 м/с (включение предохранительного тормоза не связано с превышением скорости). Вследствие малой скорости, при которой срабатывал

предохранительный тормоз, скорость в этом режиме не превышала 1 м/с. Если, по какой-либо причине, скорость в рабочем режиме достигала уставки 1 м/с, то в цепи защиты размыкался контакт ограничителя скорости. При этом максимальная скорость в режиме предохранительного торможения не намного превышала 1 м/с.

На невозможность контроля величины ускорения разгона до максимальной скорости при использовании электропривода с асинхронным электродвигателем с фазным ротором и металлическим реостатом ранее также не обращали внимания. Параметры подъема позволяли избежать подпрыгивания сосуда при возникновении предохранительного торможения в режиме разгона поднимающегося сосуда (этот вопрос будет проанализирован при рассмотрении защитной тахограммы).

Иногда на подъемах вертикальных стволов используется асинхронный электропривод с жидкостным реостатом. Он в основном распространен на подземных установках. Отметим, что на них существует тенденция его замены на короткозамкнутый асинхронный электродвигатель с частотным управлением.

Таким образом, на подъемных установках при модернизации следует отказаться от применения асинхронного электродвигателя с фазным ротором и металлическим или жидкостным реостатом, заменив аппаратуру управления электроприводом на современную. Одновременно необходимо установить более совершенный ограничитель скорости и другую аппаратуру защиты и управления.

Примером может служить комплектный тиристорный электропривод переменного тока АТК-П с системой управления, визуализации и диагностики для подъёмных установок (СУВД). Он установлен на угольном подъеме шахты «Юбилейная» ОАО «Павлоградуголь»). Принцип работы этого электропривода (в эксплуатации оставлен асинхронный электродвигатель с фазным ротором), обеспечивающего плавное регулирование скорости, торможение и отдачу энергии в сеть (ранее тратилась на нагрев роторных сопротивлений), описан в «Руководстве...» [4]. Электропривод создает устойчивую ползучую скорость без участия рабочего тормоза. Это подтверждается осциллограммой минимальной устойчивой ползучей скорости 0,08 м/с, показанной на рис. 2 (вид окна на мониторе СУВД). Электропривод создан корпорацией «Харьковский электрощитовой завод - Электекс – С».

Находятся в эксплуатации также электроприводы постоянного тока (системы Г-Д, ТП-Д, ртутные выпрямители). На рудных предприятиях они встречается чаще. Существующие системы электропривода постоянного тока позволяют поддерживать устойчивую ползучую скорость в начале и конце цикла движения сосуда, как правило, без участия рабочего тормоза.

Они обеспечивают движение с постоянным ускорением во время разгона. Допускают автоматизацию.

Однако при рассмотрении осциллограмм грузовых подъемов, работающих в автоматическом режиме, нами наблюдались колебания скорости. Колебания характерны для подъемов с малой массой вращающихся частей (безредукторный привод). Малые массы вращающихся частей колеблются под влиянием динамических усилий в канате, возникших при движении подъемного сосуда по стволу. Колебания вращающихся масс усиливаются под действием обратной связи. Они могут служить источником ложных срабатываний ограничителя скорости. Для предотвращения ложных срабатываний приходится снижать значение скорости, оставляя прежней уставку ограничителя скорости.

Вновь создаваемые системы электропривода постоянного и переменного тока должны обеспечить предотвращение колебания скорости барабана (шкива трения). Возможность устранения колебаний скорости подтверждается осциллограммами, снятыми при наладке упомянутого выше скипового подъема шахты им. Ленина, который имеет малую массу вращающихся частей.

Вновь созданный корпорацией «Харьковский электроштитовой завод - Элетекс – С» электропривод постоянного тока ЭКПЦ с системой управления, визуализации и диагностики (СУВД) относится к системе ТП-Д. Он не требует участия тормоза для управления скоростью. На рис. 3 приведена осциллограмма его минимальной устойчивой ползучей скорости 0,08 м/с (вид окна на мониторе СУВД), снятая на угольном подъеме шахты им. Героев Космоса ОАО «Павлоградуголь».

Зафиксированная в процессе испытаний устойчивая скорость 0,08 м/с в 3 с лишним раза ниже максимально допустимого значения скорости дотягивания, (0,25 м/с для клетового подъема и 0,3 м/с для бадьевого проходческого). Эти значения вошли в требования п. 2 гл. 7 разд. 7 ПБ [8] и п. 11.4.11 СОУ 10.1 - 00185790-002-2005, далее ПТЭ [9]. На многоканатном скиповом подъеме шахты им. Ленина ползучая скорость в начале и конце цикла составляет, как указывалось выше, 0,3 м/с.

Требуемая величина устойчивой ползучей скорости создается за счет правильного выбора диапазона регулирования скорости электропривода. Для вновь вводимых систем электропривода он, как правило, не ниже 75:1. В этом случае максимальной для наших эксплуатационных подъемов скорости движения сосуда в грузовом режиме 16 м/с соответствует минимальная устойчивая скорость дотягивания 0,2 м/с. Скорость 16 м/с принята с учетом характеристик подъемных машин и армировки стволов.

Проведенный анализ и эксперименты подтверждают возможность поддержания скорости дотягивания, выбранной из условия предотвраще-

ния переподъема и жесткой посадки.

Таким образом, внедрение систем электропривода, обеспечивающих поддержание устойчивой ползучей скорости и разгон с постоянным ускорением, создает предпосылки для контроля скорости на этих участках (на участках движения с постоянной скоростью и с замедлением характеристики существующих электроприводов и ограничителей скорости позволяют осуществлять контроль скорости).

Выбору современной системы электропривода для вертикального подъема уделялось недостаточно внимания. Например, вопрос отказа от редуктора связан с изменением глубины регулирования и мощности двигателя. При выборе системы электропривода следует ориентироваться на привод с оптимальным значением $\cos \varphi$ и т.д. За рубежом наиболее перспективным считается привод переменного тока, а именно электропривод с синхронным двигателем и частотным управлением.

С учетом проведенного анализа рабочей тахограммы и систем электропривода рассмотрим защитную тахограмму ограничителя скорости.

Безопасное протекание предохранительного торможения, как отмечалось выше, зависит от скорости движения сосудов, при которой был включен предохранительный тормоз, и положения сосудов в стволе. В случае возникновения предохранительного торможения во время разгона поднимающегося груза в нижней части ствола оно зависит от величины ускорения. Таким образом, следует проанализировать возможность и целесообразность контроля скорости (ускорения) ограничителем скорости на всех участках движения.

Как показано выше, рабочие тахограммы эксплуатационного и проходческого подъемов включают 7 и более периодов движения подъемного сосуда. Характеристики находящихся в эксплуатации ограничителей скорости (за исключением небольшого количества вновь введенных) не позволяют контролировать такое количество периодов. Они не обеспечивают переключение на разные максимальные скорости для грузового и людского режимов подъема, контроля замедления при подходе к промежуточным горизонтам.

Ползучая скорость в начале цикла движения и ускорение разгона не контролируются ограничителем скорости. На этих участках его уставка в ПБ [8] не оговаривается, а в КД 12.01.11.003-99 (далее КД) [10] принимается равной уставке на участке движения с максимальной скоростью. Минимальная уставка при подходе опускающегося сосуда к нижней приемной площадке согласно подпункту «б» п. 4 гл. 7 разд. VII ПБ [8] равна 1 м/с.

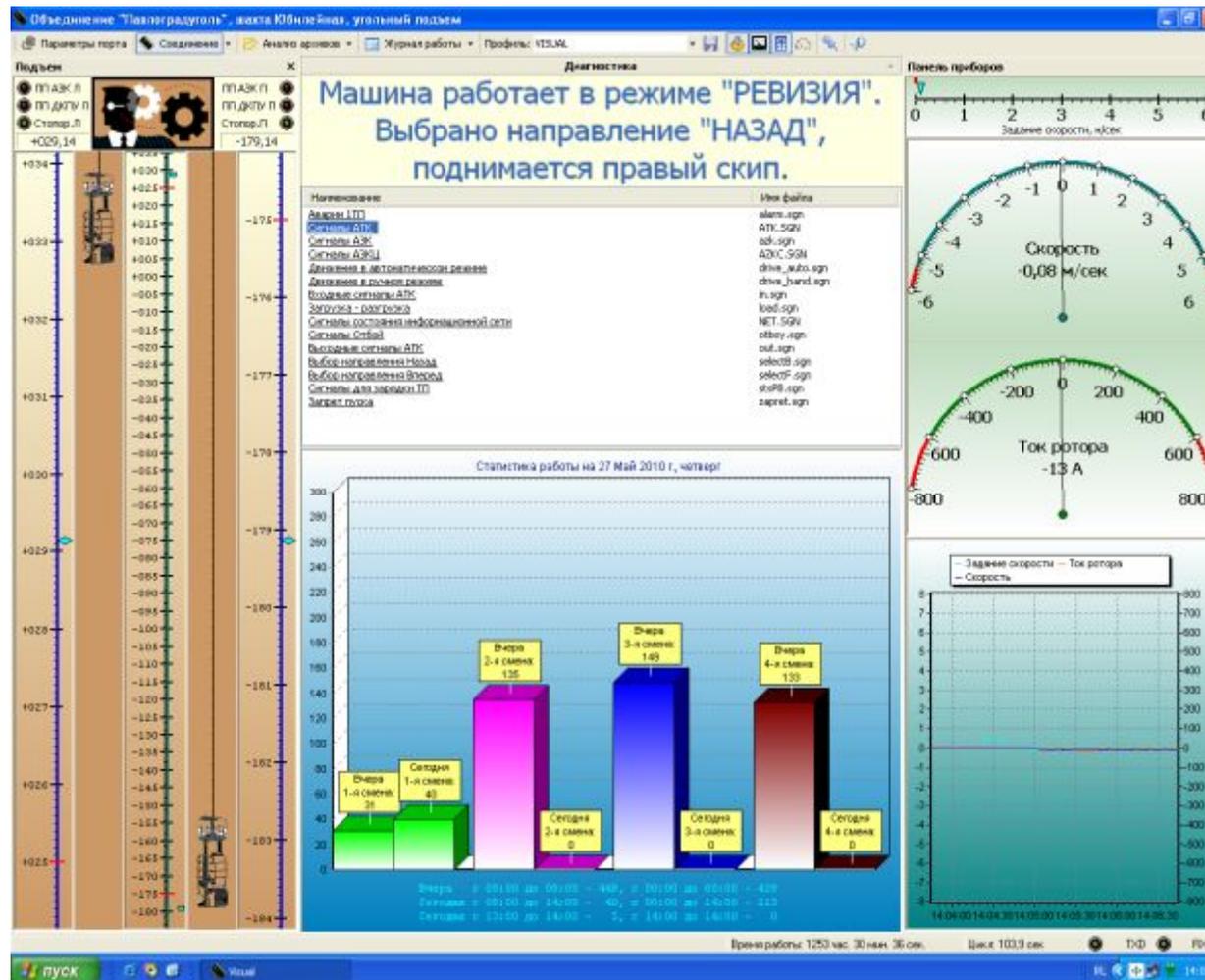


Рис. 2. Осциллограмма устойчивой ползучей скорости сосуда на угольном подъеме ш. «Юбилейная» ОАО «Павлоградуголь»

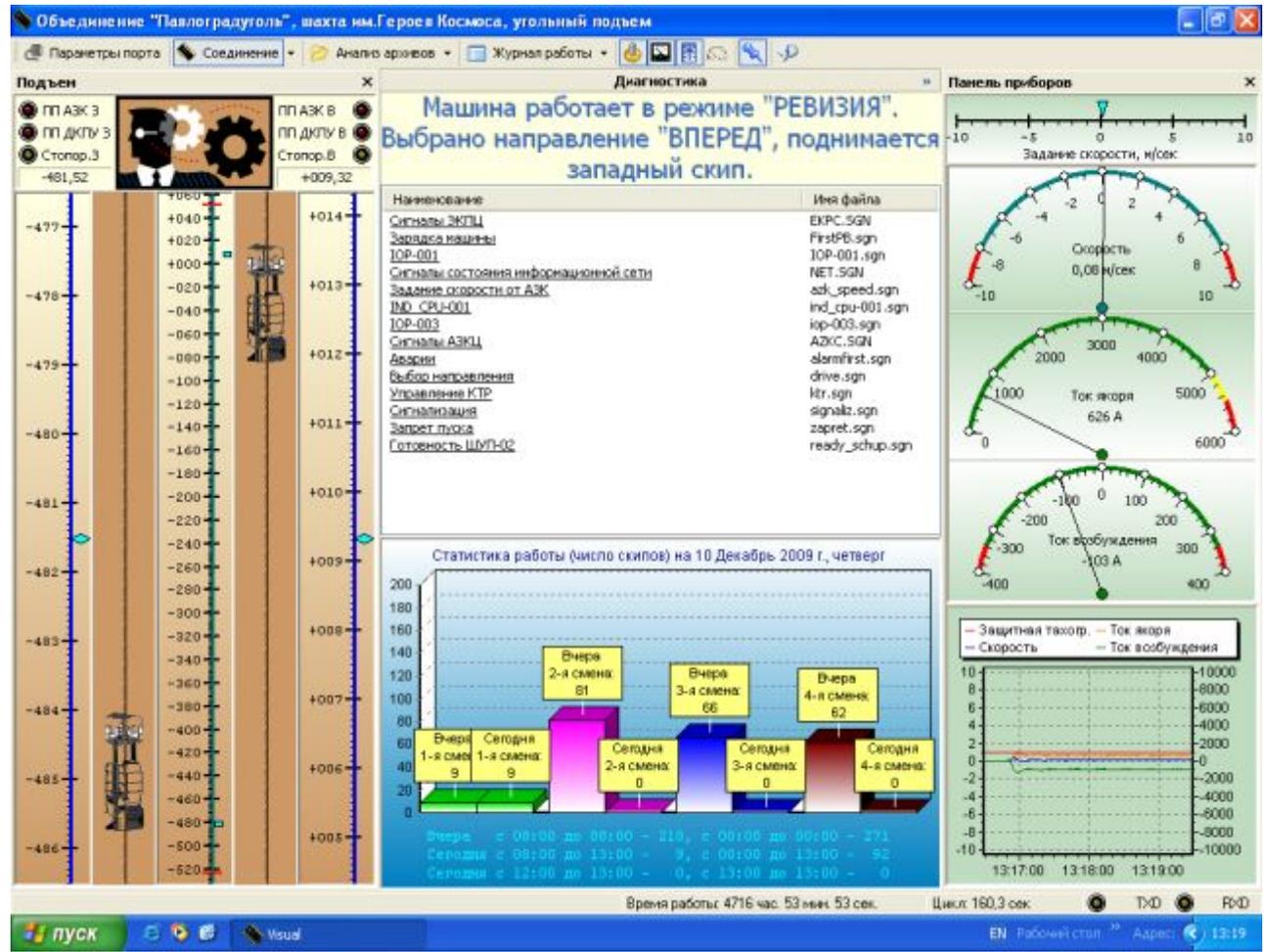


Рис. 3. Осциллограмма устойчивой ползучей скорости сосуда на угольном подъеме ш. им. Героев Космоса ОАО «Павлоградуголь»

Рассмотрим построение защитной тахограммы новых ограничителей скорости применительно к семипериодной рабочей тахограмме (рис. 1). Величина разгона до ползучей скорости на первом участке рабочей тахограммы не оказывает влияния на безопасность с точки зрения предотвращения подпрыгивания (накопленная кинетическая энергия невелика и при предохранительном торможении больших динамических усилий в канате не возникает). Поэтому контролировать величину ускорения разгона нецелесообразно. Тогда при построении защитной тахограммы участкам разгона до ползучей скорости и движения с этой скоростью должно соответствовать одно значение уставки. Аналогичный подход применим к участку dotягивания, задав одно и то же значение уставки защитной тахограммы для участка движение с постоянной скоростью и замедления до полной остановки. Таким образом, уставку ограничителя скорости для участков движения с ползучей скоростью в начале и конце цикла принимаем одинаковой.

Из требований ПТЭ [9] к величине ускорения разгона вытекает необходимость его контроля. Современные ограничители скорости должны позволять осуществлять эту функцию. Одной из причин ограничения величины ускорения разгона является опасность подпрыгивания поднимающегося сосуда в режиме предохранительного торможения. Такая опасность возникает на барабанных подъемных машинах, не имеющих уравновешивающего каната. Критерием этой опасности служит максимально допустимое замедление предохранительного торможения. На участке разгона оно ниже, по сравнению с участком движения с максимальной скоростью, причем интенсивность снижения растет с увеличением ускорения разгона.

Параметры существующих подъемных установок позволяли значительно снизить опасность подпрыгивания. Это объясняется тем, что на действующих подъемах в режиме предохранительного торможения происходит значительное взаимное погашение колебаний каната, возникших вследствие отключения электродвигателя, и колебаний, вызванных приложением тормозного усилия. Такое погашение обусловлено близостью амплитуд обоих типов колебаний и сдвигом их фаз на угол, близкий к полупериоду колебаний. Не останавливаясь на данном вопросе подробно, отметим, что амплитуда колебаний, вызванных приложением тормозного усилия, уменьшается за счет плавности его роста до величины, близкой к амплитуде колебаний, возникших вследствие отключения двигателя. Сдвиг фаз, близкий к полупериоду колебаний, обусловлен большой (по сравнению с зарубежными тормозами) продолжительностью холостого хода и дополнительным сдвигом фаз, который имеет место при плавном приложении тормозного усилия. Однако при этом могут возникнуть трудности предотвращения переподъема и жесткой посадки (требуется наоборот повышение быстродействия тормоза).

Применение предохранительного тормоза, имеющего более совершенные характеристики, позволит эксплуатировать подъемные установки с более высоким ускорением свободного выбега (увеличение грузоподъемности сосудов, снижение масс вращающихся частей, доставка грузов с более глубоких горизонтов). Одновременно повысится быстродействие тормоза. Это приведет к существенному снижению эффекта взаимного погашения указанных выше колебаний, а иногда и к полному его исчезновению в случае замедления поднимающегося сосуда в режиме свободного выбега без приложения тормозного усилия. В результате для предотвращения подпрыгивания во время предохранительного торможения потребуется контроль ускорения разгона. Характеристики вновь создаваемых ограничителей скорости должны позволять осуществлять такой контроль, а в требования ПБ [8] к ограничителям скорости необходимо внести соответствующие изменения. До проведения специальных исследований по изменению величины разгона при отказе вновь вводимых систем электропривода целесообразно строить защитную тахограмму по тому же закону, что и для участка замедления.

Следующим участком семипериодной рабочей тахограммы является участок движения с максимальной рабочей скоростью. Требования к защитной тахограмме на этом участке в пересмотре не нуждаются. В настоящей работе не будем рассматривать требования к защитной тахограмме участка движения с замедлением. Они достаточно подробно изложены в «Руководстве...» [4] и КД [10]. Их более полный анализ целесообразен в специальных работах, посвященных созданию новых ограничителей скорости.

Необходимо отметить, что защитная тахограмма на участке замедления, построенная в соответствии с требованиями КД [10], не гарантирует предотвращение жесткой посадки и переподъема, т.е. не выполняет требований второго абзаца п. 4 «б» гл. 7 разд. VII ПБ [8]. Она принята без учета характеристик предохранительного тормоза. В первую очередь это относится к существующим радиальным тормозам. В наших работах [5, 6] показано, что в случае возникновения предохранительного торможения на участке замедления при скорости в рабочем режиме, близкой скорости дотягивания, скорость посадки может превысить допустимую.

Поэтому целесообразно, сохранив прежний закон построения защитной тахограммы, ввести обязательный путь дотягивания с небольшим подтормаживанием. Оптимальным вариантом является автоматическое подтормаживание на пути дотягивания с наложением предохранительного тормоза при отсутствии подтормаживания. В этом случае можно говорить об изменении характеристики предохранительного тормоза.

Ранее путь дотягивания принимался для устранения последствий ошибок управления подъемной машиной при движении сосуда. По этой причине в литературе часто использовалась трехпериодная тахограмма [11]. Следовательно, при повышении точности управления, например, в автоматическом режиме, если применяются современные системы управления, путь дотягивания теоретически становится не нужен. КД [10], например, допускают в ряде случаев отсутствие пути дотягивания. По предложению МакНИИ в ПБ [8] введено требование применения пути дотягивания с подтормаживанием при посадке клетки на кулаки или брусья или бады на забой.

Конкретное значение требуемой уставки ограничителя скорости на пути дотягивания было найдено в наших работах [5, 6]. Оно равно 0,4 м/с. В этом случае с учетом нормативной погрешности ограничителя скорости, приведенной в КД [10], его срабатывание произойдет на интервале скорости 0,3 м/с - 0,5 м/с. Ввиду того, что при перевозке людей скорость посадки в режиме предохранительного торможения не должна превышать 1 м/с, максимальный прирост скорости должен быть ограничен величиной 0,5 м/с.

Скорость дотягивания для предотвращения ложных срабатываний ограничителя скорости не должна превышать 0,3 м/с. Погрешность современных ограничителей скорости меньше, а система электропривода, как будет показано ниже, позволяет обеспечить требуемую скорость дотягивания. При пересмотре КД [10] следует скорректировать требования к допустимой погрешности ограничителей скорости.

На основании вышесказанного, защитную тахограмму для рабочей семипериодной тахограммы (промежуточные горизонты отсутствуют) целесообразно строить как пятипериодную. Она состоит из участков разгона до ползучей скорости и движения с этой скоростью (первый период), разгона до максимальной скорости (второй период), движения с максимальной скоростью (третий период), замедления до ползучей скорости дотягивания (четвертый период), дотягивания с последующим замедлением до остановки (пятый период). Более сложные тахограммы (наличие промежуточных горизонтов или тахограммы проходческого подъема) строятся аналогично.

Перечисленные выше недостатки КД [10] свидетельствуют о необходимости разработки взамен него нового нормативного документа, учитывающего опыт создания новых ограничителей скорости. Он должен быть ориентирован на подъемные установки с большим ускорением свободного выбега, оборудованные современными системами электропривода и предохранительного тормоза.

На новых подъемных машинах или при модернизации действующих,

как правило, целесообразно отказаться от использования редуктора. Это приводит к уменьшению металлоемкости и снижению расхода электроэнергии, упрощает обслуживание машин. Одновременно уменьшается масса вращающихся частей. Но вместе с ростом неуравновешенной статической нагрузки увеличивается ускорение свободного выбега подъемных установок.

В результате в режиме предохранительного торможения могут возникнуть трудности предотвращения подпрыгивания подъемного сосуда, переподъема и жесткой посадки на барабанных подъемных установках или переподъема и проскальзывания канатов на установках со шкивом трения. В первую очередь это относится к одноконцевым проходческим подъемам и многоканатным установкам со шкивом трения. За рубежом, исходя из соображений экономики, не сдерживают искусственно рост ускорения свободного выбега подъемных установок. Однако там коренным образом улучшены характеристики тормозных систем, ограничителя скорости и систем электропривода. Усовершенствованы характеристики и другого оборудования (система управления подъемной машиной, указатель глубины, регистратор параметров подъема и т.д.), но на них мы останавливаться не будем, т.к. они не имеют прямого отношения к рассматриваемому вопросу. Таким образом, мы переходим к вопросам модернизации второго типа, при которой вместе с модернизацией первого типа происходит существенное изменение характеристик предохранительного тормоза.

При анализе режима предохранительного торможения необходимо рассмотреть задачи, стоящие перед подъемом при его функционировании в этом режиме, и характеристики тормозных систем, ограничителя скорости, а также систем электропривода. К задачам относятся предотвращение подпрыгивания подъемного сосуда, жесткой посадки и т.д. Характеристики оборудования обеспечивают решение этих задач. Рассмотрим последовательно характеристики перечисленного оборудования и их влияние на решение поставленных задач.

Перед предохранительным тормозом в режиме предохранительного торможения стоят три задачи (в других режимах появляются новые задачи, например стопорение переставного барабана во время перестановки барабанов): поддержание замедления предохранительного торможения в допустимых пределах, ограничение прироста скорости (для предотвращения жесткой посадки, застревания бады в раструбе полка и т.д.), ограничение пути переподъема.

Отечественные системы предохранительного торможения вертикального подъема создают одно- или двухступенчатый момент тормоза. Как показано в работах А.Д. Димашко и других авторов максимально допустимое ускорение свободного выбега будет при этом $1,25 \text{ м/с}^2$ и $1,66 \text{ м/с}^2$ со-

ответственно. В наших работах показано, что его можно повысить на 10 % и более за счет плавности роста тормозного усилия, однако этого недостаточно. Например в одноконцевом проходческом подъеме ускорение свободного выбега может достигать $4,4 \text{ м/с}^2$.

У большинства отечественных систем предохранительного торможения рост тормозного момента происходит непрерывно, т.е. величина среднего замедления зависит от скорости, при которой возникло торможение. В результате, если предохранительный тормоз сработал во время движения с номинальной скоростью поднимающегося груженого сосуда, то замедление предохранительного торможения в момент остановки может значительно превысить среднее допустимое. При предохранительном торможении опускающегося сосуда с номинальным грузом, возникшем во время движения подъемного сосуда со скоростью, близкой к максимальной, величина среднего замедления равна или превышает минимально допустимое значение замедления. Если предохранительный тормоз сработал при подходе сосуда к нижней приемной площадке, в момент его движения с малой скоростью, то среднее замедление предохранительного торможения не всегда достигает минимально допустимого значения. Это происходит вследствие того, что после достижения тормозным моментом номинального значения скорость его роста замедляется.

Ранее вопросу торможения с замедлением меньше допустимого не уделялось достаточного внимания. Последствия отступления от допустимого замедления учитывались при расчете защитной тахограммы ограничителя скорости. Соответствующая настройка ограничителя скорости описана в «Руководстве...» [4].

Медленный рост тормозного момента при ограничителе скорости, срабатывающем во время подхода сосуда к нижней приемной площадке со скоростью 1 м/с может привести к аварийному переподъему. Снижение скорости возникновения предохранительного торможения за счет внедрения современных ограничителей скорости и систем электропривода, обеспечивающих движение сосуда с ползучей скоростью, позволит предотвратить переподъем.

В случае подхода сосуда к жесткому основанию с ползучей скоростью и при использовании вновь созданных ограничителей скорости не исключена жесткая посадка в режиме предохранительного торможения (применение существующих ограничителей скорости ухудшит ситуацию). Это объясняется тем, что ускорение свободного выбега многих подъемных установок приближается к максимально допустимому для систем одно- и двухступенчатого предохранительного торможения. Для отечественных тормозов, имеющих медленное увеличение тормозного момента, прирост скорости (один из составляющих скорости посадки) становится соизмерим

с максимально допустимой скоростью посадки. В наших работах [5, 6] показано, что прирост скорости не должен превышать 0,5 м/с (более подробно об этом ниже). Решением вопроса служит использование небольшого подтормаживания на пути дотягивания для повышения быстродействия тормоза за счет ликвидации холостого хода.

Если ускорение свободного выбега превысит допустимое значение для систем одно- или двухступенчатого предохранительного торможения, то необходимо применять системы автоматического регулируемого предохранительного торможения (АРПТ). Мировой опыт показывает, что системе АРПТ наиболее удобно использовать на базе дисковых тормозов. Дисковые тормоза за короткий промежуток времени создают постоянный тормозной момент, т.е. замедление не меняется практически на всем пути торможения.

Применение дисковых тормозов в сочетании с современными ограничителями скорости позволит предотвратить переподъем в том числе на установках с большим ускорением свободного выбега. На таких установках, в случае посадки сосуда на жесткое основание, их высокое быстродействие может оказаться недостаточным. Поэтому при большом приросте скорости также следует применять подтормаживание. Другим решением, как показали исследования МакНИИ, может быть использование экстренного торможения на пути дотягивания, если на этом участке полное тормозное усилие создается за 0,1 с.

В нашей стране дисковые тормоза не выпускаются. Поэтому при модернизации подъема необходимо проанализировать перспективы его развития (углубка ствола, рост концевой нагрузки и т.п.) и экономическую целесообразность применения импортных дисковых тормозов, оборудованных системами АРПТ. Учитывая, что отечественная система АРПТ с регулированием по замедлению оказалась неудачной, следует проанализировать алгоритм работы импортной. Использование дисковых тормозов позволит накопить опыт их эксплуатации и облегчит разработку отечественных тормозов с аналогичными характеристиками.

Результаты исследований частично вошли в ПБ [8] и ПТЭ [9].

В заключение рассмотрим пример изменения параметров многоканатного подъема и решения возникших при этом проблем. Им служит реконструкция скипового подъема шахты им. Ленина (модернизация второго типа) [2]. Находящаяся на нем подъемная машина МК5×4К с редуктором и двумя электродвигателями обеспечивала подъем руды скипами грузоподъемностью 25 т с гор. 1350 м. Она эксплуатировалась с 11065 г., исчерпала свой ресурс и была заменена машиной ЦШ5×4КД, изготовленной ОАО «Донецкгормаш». Дисковое тормозное устройство рабочего и предохранительного торможения, электрическая часть подъемной машины, включая

систему управления и защит, изготовлены фирмой АВВ.

Новая машина позволяет осуществлять подъем руды скипами грузоподъемностью 35 т. Согласно рекламным данным НПФ «Мидиэл», выполненной поставку и монтаж машины, номинальная скорость скипов возрастет с 14 м/с до 16 м/с. Глубина ствола увеличится до 1836 м. Машина создана в безредукторном варианте. Это позволило снизить массу вращающихся частей. Ее электропривод – один синхронный двигатель и преобразователь частоты, обеспечивающие устойчивые ползучую (0,3 м/с) и номинальную скорости, разгон и замедление.

Таким образом, уменьшилась масса вращающихся частей и увеличилась неуравновешенная статическая нагрузка, т.е. возросло ускорение свободного выбега. Безопасность работы была обеспечена за счет применения лучших зарубежных образцов защит, систем предохранительного торможения и управления, электропривода.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований:

установлено, что увеличение ускорения свободного выбега при модернизации вертикального подъема, как правило, требует применения более совершенных систем предохранительного торможения, электропривода, защитной и предохранительной аппаратуры, в том числе и ограничителей скорости;

установлена необходимость разработки требований к вновь создаваемым ограничителям скорости взамен норм КД [10];

показана необходимость контроля ускорения разгона сосудов вертикального подъема с большим ускорением свободного выбега;

экспериментально подтверждена возможность поддержания устойчивой скорости на пути дотягивания с помощью вновь введенных систем электропривода вертикального подъема;

вновь создаваемые ограничители скорости должны обеспечивать контроль скорости подхода к промежуточным горизонтам. Это позволит после разработки соответствующей нормативной базы использовать в стволе посадочные кулаки;

вновь создаваемые ограничители скорости должны обеспечивать построение защитной тахограммы в зависимости от режима работы подъема (перевозка людей, доставка груза, спуск негабаритных грузов) и назначения (эксплуатационный, проходческий);

обоснованы принятые по предложениям МакНИИ корректировки требований п. 2 гл. 7 разд. 7 ПБ [8] и п. 11.4.11 ПТЭ [9] к защитной тахограмме ограничителя скорости;

установлено, что диапазон регулирования скорости электропривода для вновь вводимых или модернизируемых систем электропривода вертикального подъема должен быть не ниже 75:1;

подтверждена целесообразность, а в ряде случаев и необходимость, отказа при модернизации вертикального подъема от асинхронного электропривода с фазным ротором и металлическим реостатом;

при разработке новых систем электропривода необходимо обращать внимание на обеспечение возможности поддержания ими устойчивой скорости движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование и эксплуатация подъемных комплексов железорудных шахт / [Ю. Г. Киричок, В. В. Ройзен, Н. И. Илиенко и др.] – М.: Недра, 1982. – 232 с.
2. Пустовой В. А. Реконструкция скипового подъема шахты им. Ленина / В. А. Пустовой, А. И. Мироненко, Н. Д. Прокофьев // Разработка рудных месторождений // Науч.-техн. сб. КТУ. – Кривой Рог, 2010. – Вып. 93. – С. 72–75.
3. Шахтный подъем / [Бежок В. Р., Дворников В. И., Манец И. Г., Пристром В. А.]; общ. ред. Б. А. Грядущий, В. А. Корсун. – Юго-Восток, 2007. – 624 с.
4. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок. – Донецк.: Донеччина, 2009. – 672 с.
5. Бережинский В. И. Совершенствование оборудования одноконцевого подъема для предотвращения жесткой посадки сосуда при предохранительном торможении / В. И. Бережинский, Е. М. Федоров // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. пр. / ДДМА. – Краматорськ, 2010. – № 1 (18). – С. 27 – 32.
6. Федоров Е. М. О нормировании кинематических параметров подъемной установки при подходе опускающегося сосуда к нижней приемной площадке / Е. М. Федоров // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка – МакНИИ, 2011. – № 1(27). – С. 87–95.
7. Бережинский В. И. Новые разработки для повышения безопасности работ на шахтном транспорте и подъеме / Бережинский В. И., Бабков С. В. // Уголь Украины. – 2012. – № 6. – С. 17 – 110.
8. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОП 10.0 – 1.01 – 10. – Офиц. изд. – К., 2010. – 430 с. – (Нормативно-правовой документ Госгорпромнадзора Украины).

9. Правила технічної експлуатації вугільних шахт: СОУ 10.1 - 00185790-002-2005.– Офіц. вид. – К.: Мінвуглепром України, 2006.– 353 с. – (Нормативний документ Мінвуглепрому України).
10. Изделия шахтной автоматики. Ограничители скорости шахтных подъемных установок. Общие технические требования. Методы испытаний: КД 12.01.11.003-99. – Минуглепром Украины, 1999. – 24 с. – (Руководящий документ Минуглепрома Украины).
11. Мурзин В. А. Защита рудничных подъемных установок от превышения скорости / Мурзин В. А., Решетников В. И., Шатило А. Н. – М.: Недра, 1974. – 176 с.

Получено: 29.11.2012 г.

Проаналізовано параметри модернізованого вертикального підйому, які впливають на безпеку перебігу запобіжного гальмування. Розглянуто основні напрями вдосконалювання запобіжного гальма, обмежувача швидкості електропривода. Розроблено пропозиції щодо модернізації та створення нових підйомних машин для вертикальних стволів.

Ключові слова: модернізація, обмежувач швидкості, підйомна машина, жорстка посадка, перепідйом, захисна тахограма, робоча тахограма, запобіжне гальмо.

In the research work the parameters of upgradable vertical lift have been analyzed, which influence the safety breaking behavior. The main trends for safety brake, speed-limit device and electric drive improvement have been considered. Suggestions for new winders upgrading and building for vertical shafts have been worked out.

Key-words: upgrading, speed-limit device, winder, hard-landing, overhoisting, safety tachogram, operating tachogram, safety brake.