

**ДОНЕЦКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ Владимир Артемович

**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЕРЕНАСТРАИВАЕМОЙ
ЗАЩИТЫ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК
ОТ ПРЕВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ**

Специальность 05.05.06 — «Горные машины»

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

ДОНЕЦК — 1993

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена в Донецком государственном техническом университете.

Научный руководитель :

доктор технических наук, профессор Траубе Евгений Семенович

Официальные оппоненты :

1. Доктор технических наук, профессор Чермалых Валентин Михайлович;

2. Кандидат технических наук, доцент Яценко Николай Иванович.

Ведущее предприятие :

Макеевский научно-исследовательский институт по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ, г.Макеевка)

Защита диссертации состоится "17" декабря 1993 г. в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного совета Д 068.20.02 в Донецком государственном техническом университете, ауд.1.201.

Адрес: 340000, г.Донецк, ул.Артема, 58, ДонГТУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "15" ноября 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
доктор технических наук,
профессор



В.И.Черняев



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Шахтная подъемная установка (ШПУ), является одним из ответственных комплексов шахты. Система управления, защиты и контроля установки должна обеспечивать ее эксплуатацию с максимальными производительностью и безопасностью. Для обеспечения последней каждая ШПУ снабжается аппаратом защиты от превышения скорости и переподъема (ограничителем скорости). Ограничитель заставляет заблаговременно снижать скорость машины при подходе сосудов к конечным положениям с тем, чтобы гарантировать безопасную остановку на пути предохранительного торможения. При спуске груза путь предохранительного торможения - наибольший, при подъеме - наименьший. Существующие ограничители имеют неизменную (жесткую) настройку на наихудший режим - спуск груза, хотя при подъеме груза можно было бы начинать замедление позже, т.е. имеется противоречие: производительность ШПУ в режиме подъема груза (основном) ограничивается из-за необходимости обеспечить безопасность в технологически редком режиме спуска груза. Изменение настройки ограничителя скорости при изменении величины и направления движения груза позволит устранить это противоречие, снять неоправданные ограничения и существенно повысить производительность подъемной установки без заметного увеличения капитальных и эксплуатационных расходов. При этом необходимо сохранить или даже повысить уровень надежности защиты и всего подъема. Этого нельзя достичь без совершенствования средств контроля и диагностики. Поэтому, задача разработки защиты от превышения скорости, перенастраиваемой в соответствии с режимом работы подъемной установки, и создания эффективных средств диагностики имеет практическую актуальность. Поставленная практическая задача не может быть решена без проработки ряда возникающих теоретических вопросов, что определяет научную актуальность проблемы.

Работа проводилась в соответствии с межотраслевой программой "Создание и совершенствование высокопроизводительных технологических комплексов центральных стволов шахт глубиной до 2000 м на 1990 - 1996 г.г." в рамках темы НИР №01900015198 "Разработать и изготовить перенастраиваемую систему автоматической защиты и диагностики ШПУ на базе микропроцессорной техники".

Цель работы - обоснование и разработка системы защиты и диагностики ШПУ, включающей подсистему перенастраиваемой защиты от превышения скорости, переподъема и жесткой посадки и подсистему диагностики цепи защиты.

Идея работы состоит в том, что для обеспечения возможности повышения производительности подъема ограничитель скорости, реализуе-

мый на базе микропроцессорной техники, автоматически перенастраивается в каждом цикле движения в соответствии с величиной и направлением перемещения груза, т.е. в соответствии с режимом работы ШПУ.

Методы исследований. Выполнение работы базируется на анализе известных схем ограничителей скорости, применении математической модели процесса предохранительного торможения, построенной с использованием обыкновенных дифференциальных уравнений и численных методов их решения, анализе погрешностей адаптивной защиты с использованием методов теории ошибок, оценке достоверности теоретических положений путем экспериментальных исследований разработанной системы и статистической обработки результатов эксперимента.

Научные положения, выносимые на защиту, и их новизна:

1. Впервые показано, что перенастраиваемый ограничитель скорости с изменяемой защитной тахограммой обеспечивает возможность повышения производительности подъема: с ростом коэффициента нагрузки должно расти замедление по защитной тахограмме, а точка начала замедления должна приближаться к конечному положению; эти изменения зависят также от номинального ускорения свободного выбега установки.

2. Предложен и обоснован новый способ перенастраиваемой защиты ШПУ от переподъема и прегрешения скорости, отличающийся тем, что на участке замедления команда на предохранительное торможение подается, если путь, оставшийся до крайнего положения сосуда в стволе, меньше или равен пути предохранительного торможения, который вычисляется в каждой точке ствола в зависимости от скорости сосуда в этой точке, от параметров ШПУ и от режима ее работы.

3. Алгоритм вычисления пути предохранительного торможения ШПУ может быть представлен в виде рекуррентных соотношений, учитывающих изменения величины и направления движения груза и отличающихся ориентацией на микропроцессорную реализацию.

4. Получены аналитические выражения для относительной погрешности основных импульсных методов измерения скорости, отличающиеся учетом динамической ошибки, возникающей при изменении скорости в процессе измерения.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована: корректность использования аппарата алгебры, математического анализа и численных методов применительно к исследованию процесса предохранительного торможения ШПУ; адекватность расчетных и экспериментальных данных, расхождение которых не превышает 12%; использованием измерительных и регистрирующих приборов класса точности не ниже 1,5; результатами шахтных испытаний экспериментального образца системы адаптивной защиты и диагностики подъема.

Значение работы. Научное значение работы заключается в получении соотношений, связывающих параметры процесса предохранительного торможения с характеристиками ШПУ и параметрами ее рабочих режимов; в обосновании способа перенастраиваемой защиты от переподъема и превышения скорости; в обосновании требований к адаптивным ограничителям скорости; в разработке цифровой математической модели процесса предохранительного торможения.

Практическое значение работы заключается в следующем:

- разработан способ перенастраиваемой защиты ШПУ от опасного превышения скорости, позволяющий существенно повысить производительность подъема без заметного увеличения капитальных и эксплуатационных затрат (положительное решение по заявке № 4814970/03);

- разработаны технические требования к адаптивным ограничителям скорости, введенные в государственный стандарт "Система стандартов безопасности труда. Ограничители скорости шахтных подъемных установок. Общие технические требования. Методы испытаний";

- разработана микропроцессорная система адаптивного ограничения скорости и диагностики цепи защиты ШПУ, базирующаяся на предложенном способе защиты и ряде новых технических решений (а.с. № 1789480, а.с. № 1537640).

Реализация результатов работы. Технические требования к адаптивным ограничителям скорости внесены в государственный стандарт Украины "Система стандартов безопасности труда. Ограничители скорости шахтных подъемных установок. Общие технические требования. Методы испытаний", представленный в Госстандарт Украины на утверждение. Результаты диссертационной работы составили основу для создания системы перенастраиваемой защиты и диагностики подъема на базе микропроцессорной техники, система позволит значительно повысить производительность и облегчить эксплуатацию подъемного комплекса. Экспериментальный образец системы установлен, испытан и внедрен на скиповом угольном подъеме шахты "Октябрьский рудник" шахтоуправления "Октябрьское" ПО "Донецкуголь". Зависимости, полученные в работе, использованы при разработке "Методики расчета тормозных режимов подъемных установок угольных шахт", утвержденной Минуглепромом СССР. Методика послужила основой для создания программного модуля расчета тормозных режимов, включенного в состав вычислительной системы "Шахтный подъем", введенной в эксплуатацию институтом "Центрогипрошахт".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и получили одобрение на конференции молодых ученых и специалистов, проведенной ИГТМ АН Украины (г.Днепропет-

ровск, 1990г.), на международном семинаре по технологиям шахтного подъема (Польша, г.Гливице, 1990г.), на I международном симпозиуме "Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности" (г.Ленинград, 1991г.), на II международной конференции по автоматизации в горном деле ISAMC-92 (г.Екатеринбург, 1992г.), а также на заседаниях кафедр общей электротехники и рудничных подъемных установок ДонГУ (1990 - 1993 г.г.).

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликовано 12 печатных работ, из них 2 авторских свидетельства и 1 положительное решение по заявке на изобретение.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти разделов и заключения. Содержание диссертационной работы изложено на 148 страницах машинописного текста, иллюстрировано 42 рисунками, работа содержит 11 таблиц, список использованных источников из 122 наименований, 2 приложения.

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам НИИГМ им.М.М.Федорова, НИИКТИ "Углегормаш" ПО "Донецкгормаш" и кафедры общей электротехники ДонГУ за помощь при выполнении работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, сформулированы ее цель и основная идея, кратко охарактеризованы научная новизна, практическая ценность и внедрение результатов исследований.

В первой главе дан краткий анализ состояния вопроса, указан перечень требуемых средств обеспечения безопасности и надежности ШПУ. Отмечено, что наиболее частыми на вертикальных подъемах являются аварии, связанные с переподъемом (или жесткой посадкой) и с превышением скорости. Поэтому особое внимание уделяется средствам защиты от подобных аварий. Основным аппаратом защиты ШПУ от превышения скорости и переподъема является ограничитель скорости (ОС). Повышение уровня надежности (ремонтпригодности) ШПУ обеспечивает диагностическая аппаратура. В регламентируемый минимум такого рода средств входят устройства, показывающие, какой аппарат защиты сработал. В разработку теории и аппаратов защиты и диагностики ШПУ значительный вклад внесли В.Б.Уманский, В.С.Тулин, А.А.Иванов, А.Е.Троп, В.М.Чермалых, Е.С.Траубе, А.Г.Степанов, В.И.Белобров, В.А.Мурзин, А.Н.Шатило, А.А.Белоцерковский, В.И.Дырников и другие ученые.

Анализ схем существующих ОС показал, что все эти аппараты имеют единый принцип действия, основанный на жестком задании защитной тахограммы из условий наиболее тяжелого режима - спуска груза. Оче-

видным является противоречие между настройкой ОС на спуск груза и основным режимом работы: ШПУ – подъемом груза. Разрешить противоречие может реализация ОС, перенастраиваемого в соответствии с фактической величиной и направлением перемещения груза. Поставленная цель определила основные задачи работы:

- оценить эффективность создания адаптивной системы защиты от превышения скорости;
- обосновать и разработать способ адаптивной защиты от превышения скорости;
- оценить влияние рабочих режимов ШПУ различных типов на путь предохранительного торможения;
- оценить влияние колебаний усилий в канатах и погрешностей в определении параметров ШПУ на настройку адаптивной защиты;
- разработать микропроцессорную систему адаптивной защиты и диагностики ШПУ;
- внедрить результаты работы.

Во второй главе оценена эффективность применения перенастраиваемой в зависимости от загрузки сосуда системы защиты и управления, разработан способ адаптивной защиты от превышения скорости, указаны пути совершенствования систем автоматического управления электроприводом ШПУ в свете предложенного способа защиты.

Как известно, в режиме спуска номинального груза замедление предохранительного торможения минимально. Поэтому, жесткая настройка применяемых ОС на этот режим неоправданно ограничивает величину рабочего замедления в других режимах. На основе методики расчета критической, защитной и рабочей тахограмм, разработанной НИИГМ им.М.М.Федорова, произведен анализ изменения защитной (а значит, и рабочей) тахограммы уравновешенной двухсосудной ШПУ при учете изменения ее коэффициента нагрузки $k_{нг} = Q/Q_n$, где Q – вес полезного груза, Q_n – вес номинального полезного груза (при подъеме груза $Q > 0$, а при спуске груза $Q < 0$). При этом использовались известные соотношения, связывающие замедление при предохранительном торможении $a_{пт}$ и ускорение свободного выбега $a_{св}$ уравновешенной двухсосудной ШПУ с ее номинальным ускорением свободного выбега $a_{св.н} = Q_n/m_n$ (где m_n – приведенная к радиусу навивки масса движущихся частей ШПУ при номинальной загрузке), коэффициентом нагрузки $k_{нг}$ и минимальным замедлением предохранительного торможения $a_{пт.мин} = 1,5 м/с^2$, определяемым Правилами безопасности. На рис.1 показаны защитные тахограммы, рассчитанные по условию непереподъема, для различных режимов. Тахограммы построены в осях V (текущая скорость) и h (текущая координата сосуда относительно крайнего нормального положения). Анализ

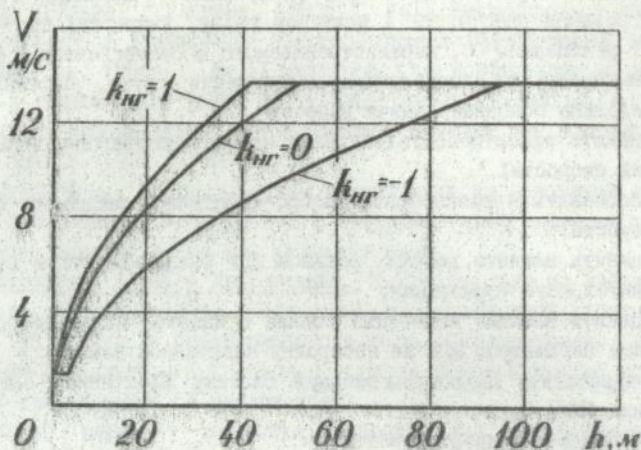


Рис.1. Защитные тахограммы при подъеме груза ($k_{HГ}=1$), при перегоне порожних сосудов ($k_{HГ}=0$) и при спуске груза ($k_{HГ}=-1$)

показал, что при подъеме груза замедление a_3 по защитной тахограмме больше, чем при спуске. Следовательно, большим может быть и рабочее замедление a_p , связанное с a_3 известным соотношением. Чем большим будет a_p , тем короче будет цикл работы ШПУ при неизменной величине максимальной скорости V_m . Тогда, при той же грузоподъемности машины, возрастет ее производительность. Произведена оценка повышения производительности уравновешенной двухсосудной грузовой ШПУ, имеющей адаптивную систему управления и защиты, по отношению к ШПУ, у которой защитная и рабочая тахограммы рассчитаны жестко на режим спуска номинального груза и не меняются. Расчет выполнен для четырехпериодной рабочей тахограммы, содержащей участки разгона, равномерного хода, замедления и дотягивания. На рис.2 показаны зависимости относительного увеличения часовой производительности δA от номинального ускорения свободного выбега $a_{св.н}$, полученные при условии равенства рабочих ускорения и замедления, для фиксированных скорости $V_m=15\text{ м/с}$ (α) и высоты подъема $H=600\text{ м}$ (σ) для варианта защиты от жесткой посадки. Анализ показал, что повышение производительности достигает 30%. Относительный рост часовой производительности тем выше, чем больше номинальное ускорение свободного выбега $a_{св.н}$ (меньше массивность), выше скорость V_m , меньше высота H .

Указанное повышение производительности за счет роста рабочего

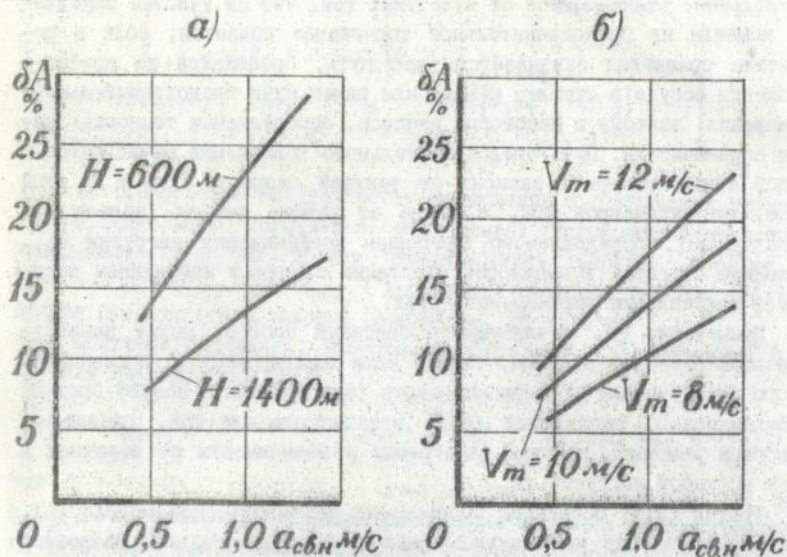


Рис.2. Зависимости увеличения часовой производительности ШПУ от номинального ускорения свободного выбега при максимальной скорости 15 м/с (а) и при высоте подъема 600 м (б)

замедления (и ускорения) при постоянных значениях H и V_m ведет, очевидно, к уменьшению времени T движения, т.е. к снижению степени неполноты тахограммы $\lambda = V_m T / H$ (одного из основных критериев динамического подобия ШПУ). Поэтому, на основании работ Г.М.Еланчика и В.В.Уманского, сделан вывод о том, что повышение производительности ШПУ за счет роста рабочего замедления (ускорения) при постоянстве H и V_m не приводит в большинстве случаев к уменьшению общего к.п.д. установки, т.е. к росту удельных затрат электроэнергии, а в некоторых случаях (при наличии асинхронного реостатного электропривода) имеется даже снижение этих затрат (за счет повышения общего к.п.д.).

Произведена оценка влияния предлагаемого изменения рабочей тахограммы на выбор электродвигателя ШПУ. Расчеты и анализ эквивалентного усилия, приведенного к радиусу навивки, и перегрузочной способности, выполненные для реальных ШПУ с симметричной трапециевидальной рабочей тахограммой, показали, что не возникает необходимость применения более мощного электродвигателя.

Для реализации возможности повышения производительности ШПУ предложен новый способ адаптивной защиты от превышения скорости и

переподъема, отличающийся от известных тем, что на участке замедления команда на предохранительное торможение подается, если в результате сравнения оказывается, что путь, оставшийся до крайнего положения сосуда в стволе, меньше или равен пути предохранительного торможения, взятому с некоторым запасом, определяемым точностью работы ограничителя. Путь предохранительного торможения вычисляется в каждой точке ствола и зависит от текущей скорости сосуда в этой точке, от параметров ШПУ, а также от режима работы (подъем или спуск груза), определяемого значением коэффициента нагрузки $k_{нг}$. Последнее отражает возможность адаптации защиты к изменениям величины и направления перемещения груза.

Применение ОС, реализующего описанный способ, может повысить производительность подъема, только если одновременно с применением нового ограничителя усовершенствовать (или применить новую) систему автоматического управления (САУ) электроприводом ШПУ, сделав ее способной изменять рабочую тахограмму в зависимости от величины и знака конечной нагрузки ($k_{нг}$).

Третья глава посвящена обоснованию математической модели ШПУ, ориентированной на микропроцессорную реализацию. Модель позволяет вычислить путь предохранительного торможения $h_{пт}$, что необходимо для реализации предложенного способа адаптивной защиты. За основу принята одностепенная расчетная схема ШПУ. Величина $h_{пт}$ может быть определена с помощью обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка

$$a^2 h_{пт} / dt^2 = - a_{пт}(t) = - (C_1 k_T(t) + C_2), \quad (I)$$

где t - время, отсчитываемое от начала предохранительного торможения (от момента разрыва цепи защиты); $a_{пт}(t)$ - замедление при предохранительном торможении в функции времени; $k_T(t)$ - кратность тормозного усилия F_T ($k_T(t) = F_T / Q_H$ - для двухсосудных и $k_T(t) = F_T / (0,5Q_H)$ - для однососудных с противовесом ШПУ); C_1, C_2 - постоянные в каждом цикле работы ШПУ коэффициенты. Уравнение (I) имеет начальные условия: $h_{пт}(0) = 0, V(0) = V_0$, где $V(t)$ - скорость в процессе предохранительного торможения, V_0 - скорость в начальный момент торможения (т.е. действительная скорость ШПУ в той точке ствола, для которой вычисляется $h_{пт}$). Интегрирование уравнения (I) методом трапеций с шагом τ дает систему рекуррентных соотношений, определяющих значения искомых функций на $(t+1)$ -м этапе по значениям на t -том

шаге:

$$\left. \begin{aligned} V_{i+1} &= V_i - 0,5\tau C_1 [k_{т.1} + k_{т.(i+1)}] - \tau C_2, \\ h_{пт.(i+1)} &= h_{пт.1} + \tau V_i + 0,5\tau^2 [C_1 k_{т.1} + C_2], \\ t_{i+1} &= t_i + \tau. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Интегрирование следует вести до момента t_n окончания процесса предохранительного торможения, этот момент определяется граничными условиями: если ОС должен предотвратить жесткую посадку, то $V_n = V(t_n) \leq V_{под}$, где $V_{под}$ - допустимая скорость подхода; если ОС должен предотвратить опасный переподем, то $V_n \leq 0$.

Получены выражения, позволяющие определить коэффициенты C_1 и C_2 . Для двухконцевых ШПУ:

$$C_1 = a_{св.н} / (1 - (1 - |k_{нг}|) a_{св.н} / g), \quad C_2 = C_1 (k_{нг} + \delta), \quad (3)$$

где $\delta = (H - 2h_{ост})(q-p)/Q_H$ - коэффициент неуравновешенности ШПУ; $h_{ост}$ - оставшийся путь, равный расстоянию от точки, в которой вычисляется $h_{пт}$, до крайнего положения сосуда в стволе; q, p - погонный вес соответственно хвостовых и головных канатов. Очевидно, для статически уравновешенного ($q=p$) подъема $\delta=0$. Несколько упростить вычисления, незначительно увеличивая погрешность расчета $h_{пт}$ в сторону запаса, можно, если положить: для переуравновешенных ($q>p$) ШПУ $\delta=0$, для недоуравновешенных ($q<p$) ШПУ $\delta = \delta_k = H(q-p)/Q_H$, где δ_k - статическая характеристика подъемной системы (по Г.М. Еланчику).

Для однососудных подъемных установок с противовесом, вес которого равен сумме мертвого веса сосуда и половины веса номинального груза Q_H :

$$C_1 = a_{св.н} / (1 - (1 \pm |k_{нг}|) a_{св.н} / g), \quad C_2 = C_1 (k_{нг} + \delta), \quad (4)$$

где $a_{св.н} = 0,5Q_H/m_n$; $k_{нг} = \pm |Q - 0,5Q_H| / (0,5Q_H)$ ($k_{нг} > 0$ в режиме подъема и $k_{нг} < 0$ в режиме спуска груза); $\delta = (H - 2h_{ост})(q-p) / (0,5Q_H)$; знак "+" соответствует условию: $0 \leq q \leq 0,5Q_H$, знак "-" соответствует условию: $0,5Q_H \leq q \leq Q_H$. И в этом случае применимы допущения, упрощающие вычисления (см. выше). Необходимо лишь учесть, что $\delta_k = H(q-p) / (0,5Q_H)$. Получены выражения, аналогичные выражениям (4), для случая, когда вес противовеса отличен от суммы мертвого веса и веса половины номинального груза.

Рассмотрен процесс нарастания тормозного усилия при предохранительном торможении. Функция $k_t(t)$ характеризуется: временем холо-

стого хода, постоянной времени нарастания тормозного усилия (если считать, что тормозное усилие нарастает экспоненциально), наибольшим значением кратности тормозного усилия. Эти параметры следует определять на основе нормативов: максимального допустимого времени холостого хода, максимального допустимого времени срабатывания предохранительного тормоза, минимального допустимого замедления ШПУ при предохранительном торможении.

Указаны методы определения коэффициента нагрузки ШПУ $k_{нг}$.

В четвертой главе решен ряд задач, связанных с выбором уставки срабатывания адаптивного ограничителя скорости.

Уточнено понятие "путь, оставшийся до крайнего положения сосуда в стволе" ($h_{ост}$). Это - расстояние от точки ствола, в которой находится сосуд в данный момент, до точки, удаленной от ближайшего крайнего нормального положения на величину пути допустимого перепада, причем, нормальное крайнее положение находится между этими точками.

Предлагаемый способ адаптивной защиты определяет переход от уставки по скорости к уставке по пути. Поэтому, необходимо перейти от запаса по скорости (как в применяемых ОС) к запасу по пути Δh . Получены условия срабатывания адаптивного ОС для различных вариантов защиты: для случая защиты от опасного перепада

$$h_{ост} \leq h_{пт} + \Delta h, \quad (5)$$

для случая защиты от жесткой посадки на кулаки (брусья)

$$h_{ост} - h_{пер} \leq h_{пт} + \Delta h, \quad (6)$$

для случая защиты от жесткого входа в разгрузочные кривые

$$h_{ост} - h_{пер} - h_{рг} \leq h_{пт} + \Delta h, \quad (7)$$

где $h_{пер}$ - путь допустимого перепада; $h_{рг}$ - путь разгрузки.

Погрешность применяемых ОС по скорости в соответствии с ОСТ 12.24.189-80 не должна превышать по абсолютной величине $(0,03V+0,07)$ м/с. Современные технические средства измерений позволяют определять коэффициент нагрузки $k_{нг}$ ШПУ с приведенной точностью не хуже 5%. При таких погрешностях по скорости и по нагрузке был оценен запас Δh по пути, обеспечивающий надежную работу адаптивного ОС. Для варианта защиты от жесткого входа в разгрузочные

кривые

$$\Delta h = (0,08h_{\text{ост}}) , \text{ м ;} \quad (8)$$

для варианта защиты от опасного перепожда

$$\Delta h = (0,08h_{\text{ост}} + 0,07) , \text{ м ;} \quad (9)$$

для варианта защиты от жесткой посадки на кулаки (брусья)

$$\Delta h = (0,08h_{\text{ост}} + 1) , \text{ м .} \quad (10)$$

В последнем случае абсолютная добавка (Δh) определена с учетом динамики предохранительного торможения ШПУ, а также с учетом статического удлинения канатов под действием полезного груза.

Указаны способы определения положения сосуда в стволе шахты, реализуемые с помощью промышленных датчиков путевых импульсов. Рассмотрены три основных способа импульсного измерения скорости: М-метод (определение скорости подсчетом числа путевых импульсов за фиксированный промежуток времени), Т-метод (определение с помощью импульсов эталонной частоты периода следования путевых импульсов, который обратно пропорционален скорости), М/Т-метод (комбинация двух первых). Получены выражения для относительной погрешности этих методов, учитывающие динамическую ошибку, возникающую при изменении скорости в процессе измерения. Для М-метода

$$\varepsilon_{\text{VM}}^2 = \left[(\delta h / \Delta t_{\text{э}})^2 + (0,5\alpha [\Delta t_{\text{э}} + t_{\text{ос}}])^2 \right] / V , \quad (11)$$

для Т-метода

$$\varepsilon_{\text{VT}}^2 = (T_{\text{э}}V / \delta h)^2 + ([t_{\text{ос}} + \delta h / V] \alpha / 2V)^2 , \quad (12)$$

для М/Т-метода

$$\varepsilon_{\text{VMT}}^2 = (T_{\text{э}}V_{\text{min}} / \delta h)^2 + (10,5t_{\text{ос}} + \delta h / V_{\text{min}}) \alpha / V)^2 , \quad (13)$$

где δh - путевой квант; $\Delta t_{\text{э}}$ - длительность эталонного промежутка времени; α - ускорение (скорость изменения измеряемой скорости); $t_{\text{ос}}$ - время срабатывания ОС; $T_{\text{э}}$ - период импульсов эталонной частоты; V_{min} - наименьшее достоверно измеряемое значение скорости. Приведенные выражения позволяют выбрать метод, обеспечивающий необходимую точность измерения скорости.

Пятая глава посвящена разработке и экспериментальной проверке микропроцессорной системы адаптивной защиты и диагностики ШПУ,

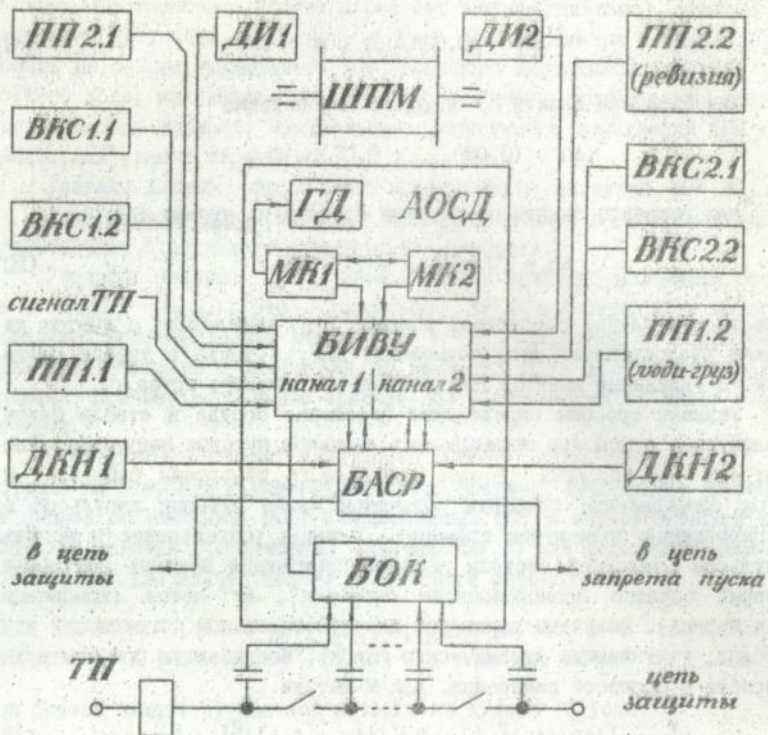


Рис.3. Структурная схема и схема внешних связей системы АОСД

а также внедрению результатов работы.

Анализ существующих ОС и проведенные теоретические исследования позволили выдвинуть технические требования к адаптивным ОС. На основе этих требований разработана микропроцессорная система адаптивного ограничения скорости и диагностики (АОСД) ШПУ. На рис.3 приведена структурная схема системы АОСД с внешними связями. Система включает две подсистемы: подсистему адаптивной защиты и подсистему диагностики состояния контактов цепи защиты. Подсистема защиты имеет два независимых канала, каждый из которых содержит микроконтроллер (МК1, МК2), связанный с соответствующим каналом блока интерфейсов внешних устройств БИВУ. Каждый из каналов БИВУ связан с датчиком путевых импульсов (ДИ1, ДИ2), установленным на ШПУ, концевыми

стволовыми выключателями (ВКС1.1, ВКС1.2, ВКС2.1, ВКС2.2), пакетными переключателями режимов работы "люди-груз" (ПП1) и "ревизия" (ПП2). Через блок аналоговых сигналов и реле БАСР блок БИВУ связан с датчиками концевой нагрузки (ДКН1, ДКН2). В блоке БАСР находятся исполнительные реле обоих каналов ОС, контакты которых включаются в цепь защиты и в цепь запрета пуска. К подсистеме диагностики относится микроконтроллер МК1, однострочный газоразрядный дисплей ГД, часть субблоков ввода дискретных сигналов блока БИВУ, блок опроса контактов БОК, содержащий оригинальные датчики состояния контакта цепи защиты. Блок БОК связан с цепью защиты (т.е. с цепью контактора предохранительного торможения ТП). Через блок БИВУ в систему подается сигнал ТП включения предохранительного тормоза. Разработаны алгоритмы функционирования системы.

Экспериментальный образец системы АОСД был смонтирован, испытан в промышленных условиях и внедрен на двухскиповом угольном подъеме шахты "Октябрьский рудник" шахтоуправления "Октябрьское" ПО "Донецкуголь". Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность разработанной системы. С помощью критерия Фишера (F-критерия) подтверждена адекватность предложенной математической модели процесса предохранительного торможения экспериментальному материалу. Расхождение значений пути предохранительного торможения, полученных в ходе опытов и расчетов, не превышает 12%. Погрешность расчета значений $h_{пт}$ не превышает запаса по пути, обоснованного ранее. Все это подтверждает достоверность используемых методов исследований и полученных аналитических зависимостей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа содержит новое решение актуальной научной задачи обоснования способа адаптивной защиты шахтной подъемной установки от переподъема и опасного превышения скорости и обоснования требований к адаптивным ограничителям скорости, что предоставило возможность разработать микропроцессорную систему перенастраиваемой защиты и диагностики, позволяющую повысить эффективность и ремонтопригодность ШПУ.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Часовая производительность подъемной установки, снабженной перенастраиваемой в зависимости от режима работы, т.е. от величины и направления перемещения груза, системой защиты и управления, может повыситься на 30% (при некотором соотношении ее параметров). Столь существенный рост производительности достигается, практичес-

ки, без увеличения капитальных затрат и эксплуатационных издержек.

2. Перенастраиваемый ограничитель скорости с изменяемой защитной тахограммой обеспечивает возможность повышения производительности подъема: с ростом коэффициента нагрузки должно расти замедление по защитной тахограмме, а точка начала замедления должна приближаться к конечному положению; эти изменения зависят также от номинального ускорения свободного выбега установки.

3. Разработан новый способ адаптивной защиты ШПУ от превышения скорости и переподъема, отличающийся от известных тем, что на участке замедления команда на предохранительное торможение подается, если путь, оставшийся до крайнего положения сосуда в стволе, меньше или равен пути предохранительного торможения, взятому с запасом. Путь предохранительного торможения вычисляется в каждой точке ствола в зависимости от скорости сосуда в этой точке, от параметров ШПУ, а также от режима работы (подъем или спуск груза), т.е. от величины и направления движения груза.

4. Алгоритм вычисления пути предохранительного торможения ШПУ может быть представлен в виде рекуррентных соотношений, учитывающих изменения величины и направления движения груза, отличающихся ориентацией на микропроцессорную реализацию, найденных с помощью численного интегрирования методом трапеций уравнения движения ШПУ как одномассовой системы и обеспечивающих достаточную для реализации нового способа защиты степень точности вычислений.

5. Предлагаемый способ защиты ШПУ определяет необходимость перехода от уставки срабатывания ОС по скорости к уставке по пути. Сформулированы условия срабатывания адаптивного ОС, учитывающие различия вариантов защиты: от переподъема, от жесткого входа в разгрузочные кривые или от жесткой посадки. Для каждого варианта найдена величина запаса по пути, обеспечивающая надежность защиты, учитывающая погрешности в работе адаптивного ОС и динамику ШПУ.

6. Указаны основные методы определения положения подъемного сосуда в стволе и цифрового измерения скорости. Для последних получены соотношения для оценки погрешности измерений с учетом статической и динамической составляющих. Анализ этих соотношений позволил разработать рекомендации по выбору необходимого метода импульсного измерения скорости.

7. Выдвинуты обоснованные технические требования к адаптивным ОС. На основе требований разработаны структурные схемы и алгоритмы функционирования перенастраиваемой защиты от переподъема и превышения скорости. Разработан, испытан в условиях шахты и внедрен экспериментальный образец системы адаптивной защиты и диагностики ШПУ.

Подтверждены адекватность разработанной математической модели экспериментальному материалу и работоспособность системы.

8. Результаты работы использованы при разработке государственного стандарта Украины "Система стандартов безопасности труда. Ограничители скорости шахтных подъемных установок. Общие технические требования. Методы испытаний", при разработке утвержденной методики расчета тормозных режимов ШПУ, при создании программного модуля расчета тормозных режимов, введенного в эксплуатацию.

9. Поставлены задачи дальнейших исследований: разработать алгоритмы для реализации самонастраивающейся адаптивной защиты от превышения скорости, расширить круг диагностируемых параметров ШПУ, разработать систему управления электроприводом ШПУ, адаптивную к величине и знаку концевой нагрузки.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Алистратова И.Е., Шапочка С.Н., Белоцерковский В.А. Об эффективности адаптивной системы управления и защиты шахтной подъемной установки // Уголь Украины. - 1991. - № 12. - С.36-39.

2. Белоцерковский В.А., Шапочка С.Н., Сарафанова Е.В. О повышении производительности подъемных установок шахт за счет адаптивного управления // Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности: Тез. докл. I международного симпозиума. - Л., 1991. - С.77-78.

3. Способ адаптивного ограничения скорости шахтных подъемников / Ковалевский И.П., Алистратова И.Е., Шапочка С.Н., Белоцерковский В.А. // Известия ВУЗов. Горный журнал. - 1992. - №10. - С.66-69.

4. Шапочка С.Н., Белоцерковский В.А., Лунина Е.А. Особенности выбора режима предохранительного торможения шахтных подъемных установок с противовесом // Горная электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. - Киев: Техника, 1991. - Вып. 58. - С.85-89.

5. Система автоматизированного проектирования тормозных режимов шахтных подъемных машин / Е.С.Траубе, С.Н.Шапочка, Е.А.Лунина, В.А.Белоцерковский и др. // Zesz. nauk. PS1:Gorn. - 1990. - №192. - S.231-237.

6. Шапочка С.Н., Белоцерковский В.А. Микропроцессорная система контроля, защиты и диагностики подъемных установок и другого стационарного оборудования шахт: Информ. листок № 70-92. - Донецк: ДПИТИ, 1992. - 2 с.

7. Белоцерковский В.А. Микропроцессорная система защиты и диагностики шахтной подъемной установки // Техника и технология горного производства: Тез. докл. конф. молод. учен. - Днепропетровск, 1990. - С.53-54.

8. Белоцерковский В.А., Шапочка С.Н., Гавриленко Г.А. Микропроцессорная система диагностики цепи защиты шахтных подъемных ус-

тановок // Автоматическое управление энергообъектами ограниченной мощности: Тез. докл. I международного симпозиума. - Л., 1991. - С. 68-69.

9. Комплекс автоматизированного контроля и диагностики шахтных подъемных установок / Е.С.Траубе, С.Н.Шапочка, А.П.Листопад, В.А.Белоцерковский // World Mining Congress ICAMC 1992: Тез. докл. - Россия, Екатеринбург, 1992. - С. 100-101.

10. Способ защиты шахтной подъемной установки от превышения скорости подъема / В.А.Белоцерковский, С.Н.Шапочка. - Положительное решение по заявке № 4814970/03 от 16.01.92; Заявлено 11.03.90.

11. А.с. 1537640 СССР, МКИ В 66 В 3/02. Устройство для определения положения подъемного сосуда в стволе шахты / С.В.Григорьев, В.А.Белоцерковский (СССР). - № 4328546/24-03; Заявлено 16.11.87; Опубл. 23.01.90, Бюл. № 3. - 6 с.

12. А.с. 1789480 СССР, МКИ В 66 В 3/00. Устройство для диагностики состояния выходной цепи аппарата защиты шахтной подъемной установки / С.Н.Шапочка, В.А.Белоцерковский (СССР). - № 4829513/03; Заявлено 28.05.90; Опубл. 23.01.93, Бюл. № 3. - 6 с.

Ветков

Подп. в печать 10.11.93. Формат 60x84 1/16. Бумага типографская.
 Offsetная печать. Усл. печ. л. 0,93. Усл. кр.-отт. 1,16. Уч.-изд. л. 1,07.
 Тираж 110 экз. Заказ № 4-217.

Донецкий государственный технический университет,
 340000, Донецк, ул. Артема, 58

МАП, 340060, Донецк, ул. Артема, 96

100 221

AB 28.63

AB 28.631