



Н. А. ЧЕЛАТЫЙ,
канд. техн. наук
(ПАО «НИИГМ
им. М. М. Федорова»)



К. Ю. БАРАНОВ,
инж.
(ПАО «НИИГМ
им. М. М. Федорова»)

Одна из наиболее часто встречающихся аварий во время эксплуатации шахтной подъемной установки (ШПУ) – зависание опускающегося сосуда в стволе шахты. Причины зависания: возникновение аварийно-опасных участков, вызванных изменением ширины колеи и появлением уступов на стыках проводников; попадание элементов крепления горных выработок в транспортируемый груз; ложное срабатывание парашюта.

Обеспечение эффективности и безопасности эксплуатации подъемных установок, своевременное обнаружение нарушений в режимах их работы и принятие необходимых мер по предупреждению аварий зависят от применяемых устройств защиты и блокировок. В соответствии с требо-

Технические средства повышения безопасности эксплуатации шахтной подъемной установки

ваниями Правил безопасности в угольных шахтах, подъемная установка должна быть оборудована устройствами для защиты от провисания струны каната и напуска каната в ствол, а также средствами контроля выдергивания тормозных канатов в месте их крепления в зумпфе или продергивания их в амортизаторах [1].

Наиболее известны системы контроля и управления ООО «НТФ «Автоматуглерудпром», ОАО НПФ «Мидиэл», ПАО «НИИГМ им. М. М. Федорова», ОАО «Автоматгормаш им. В. А. Антипова», НПФ «УШС», ООО НПФ «Альянс-Д», ГП «Петровский завод угольного машиностроения» и др. За рубежом исследованиями по совершенствованию и разработке устройств защиты шахтного подъема заняты фирмы Transmitten, Trolex, ABB, FHF, ZAM SERVIS и др.

Применяемые в настоящее время устройства защиты контролируют момент напуска каната по следующим признакам (рис. 1): провисанию струны каната между барабаном и копровым шкивом; по скорости вращения или усилиям в отдельных элементах, по положению подъемного сосуда в стволе, по току якоря приводного двигателя барабана, по натяжению каната в точке подвески и т. д.

Проанализируем эти устройства контроля зависания с точки зрения их достоинств, недостатков и области применения.

Устройства контроля и защиты от провисания струны каната. Эти устройства измеряют прогиб струны каната между барабаном и копровым шкивом и могут быть выполнены с жестким элементом, воспринимающим вес каната, или с гибким элементом (разработчик ГАК «Донбассуглеавтоматика»). Контроль зависания подъемного сосуда в стволе по провисанию струны каната прост, надежен в эксплуатации, однако имеет ограничения по глубине ствола.

Получена формула [2] для определения максимальной высоты подъема, при которой произойдет срабатывание подканатной защиты:

$$H_{\min} = 0,5\sqrt{(a^*l)^2 + (l+a^*h)^2},$$

где h и l – высота копра относительно оси шкива и расстояние между осями машины и копра;

$a^* \approx 2,5D + 7,5$ м;

D – диаметр подъемной машины, м.

Устройства защиты от напуска каната в ствол. В настоящее время применяются различные варианты средств защиты от напуска каната в ствол, повышающие безопасность эксплуатации ШПУ. К ним относятся рассмотренные ниже устройства.

Устройства защиты от недопустимого снижения натяжения головного каната. Устройства «непосредственного» контроля – это раз-

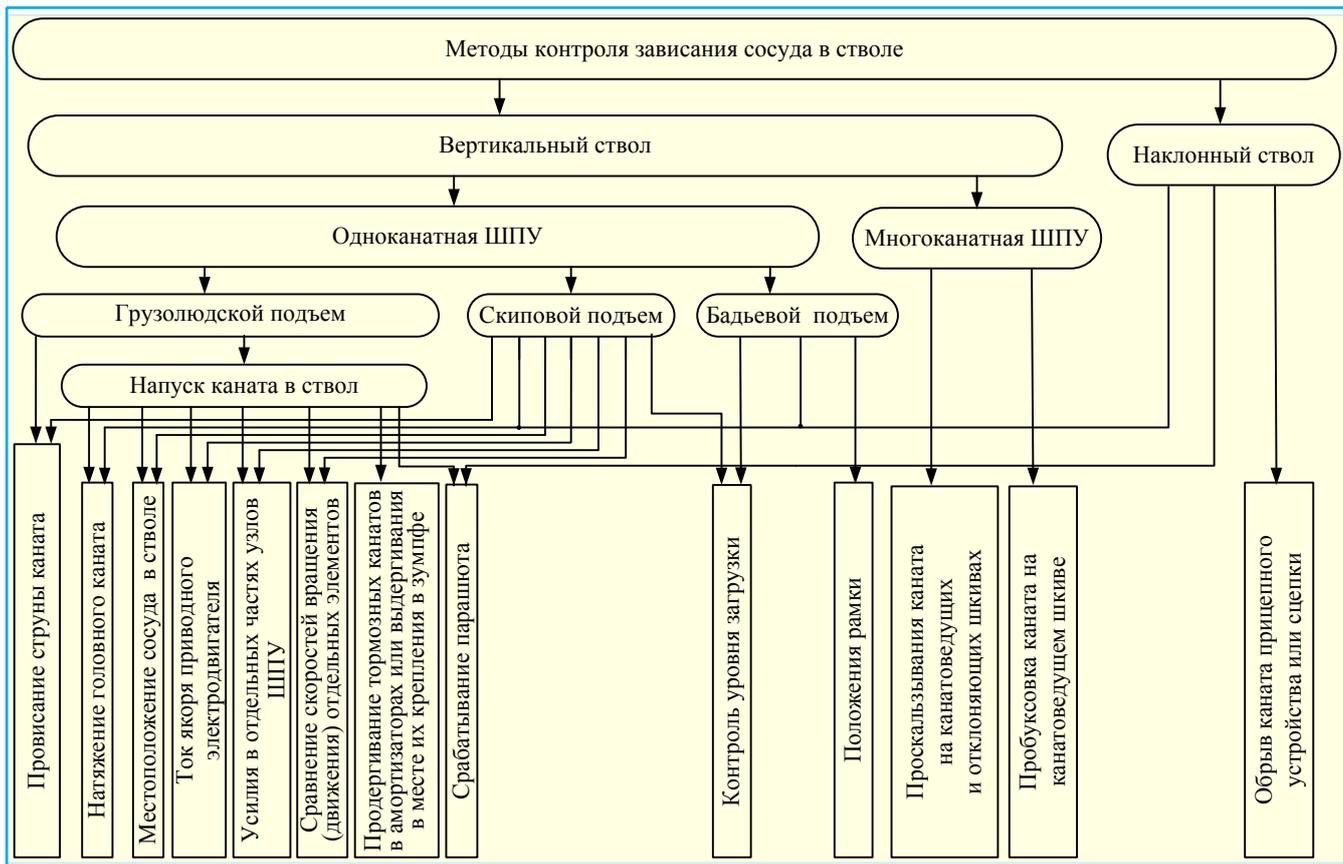


Рис. 1. Методы контроля зависания сосуда в стволе.

личные силоизмерительные и деформационные датчики, а также датчики наклона, которые монтируют на канат выше прицепного устройства. Активные датчики наклона каната, построенные по инерциальным принципам (гироскопы и акселерометры), хорошо зарекомендовали себя по показателям надежности, достоверности и способности в реальном времени выдавать сигнал о текущем наклоне каната в градусах.

Силовизмерительные датчики натяжения каната чаще всего построены по трехточечной схеме. Такой датчик, снабженный обрабатывающей электроникой, после одноразовой настройки и калибровки способен длительное время с заданной точностью контролировать натяжение каната. По заданному при настройке пороговому значению нагрузки определяют текущий режим работы каната – норма (канат под действием растягивающей нагрузки) или авария (произошел напуск, канат разгружен).

Возможные удлинения каната под воздействием нагрузки определяются по формуле

$$\Delta l = Pl_1/(EF) + ql_1^2/(2EF), \quad (1)$$

где P – концевая нагрузка, Н;

l_1 – длина отвеса, м;

E – модуль упругости каната, Н/м²;

F – площадь сечения каната, м²;

q – вес одного метра каната, Н/м.

Датчики контроля натяжения крепят непосредственно на канате выше подвесного устройства. При этом скопление влаги в местах крепления приводит к преждевременной коррозии и, следовательно, к утонению проволок каната.

Недостаток таких датчиков – индивидуальная трудоемкая настройка при его перенавеске и изменении эксплуатационных характеристик каната.

Устройства контроля положения подъемного сосуда в стволе шахты. Момент зависания подъемного сосуда в этих устройствах определяется следующими методами:

первый – подсчетом количества расстрелов, пройденных сосудом;

второй – установкой путевых датчиков, расположенных вдоль ствола;

третий – считыванием магнитных меток, нанесенных на подъемном канате;

четвертый – использованием доплеровских измерителей перемещения.

Первый метод – на подвижном сосуде устанавливают передатчик радиосигналов и два датчика сближения, размещенные на вертикальной стенке подвижного сосуда на расстоянии L (см. формулу ниже) один от другого в вертикальной плоскости:

$$L = \delta + v_{\max} \tau,$$

где δ – толщина расстрела, м;

v_{\max} – максимальная скорость движения подъемного сосуда, м/с;

τ – время передачи информации, с.

При движении подъемного сосуда по стволу во время прохождения расстрела включаются датчики сближения. Сигналы с выходов этих датчиков через передатчик и приемник радиосигналов поступают на входы микроконтроллера. Последний определяет направление перемещения подъемного сосуда, вычисляет его местоположение и скорость движения.

Микроконтроллер также контролирует время задержки между импульсами, которые поступили от датчиков сближения, и время одновременного включения:

$$t = L / v_{\min}$$

где v_{\min} – минимальная скорость движения подъемного сосуда.

При превышении значения t формируется сигнал «Горизонт», который сигнализирует о пребывании подъемного сосуда на горизонте.

Второй метод – подъемный сосуд во время движения проходит мимо путевых датчиков, которые подают сигналы в схему защиты [3]. Если через определенный интервал времени сигнал не поступает с очередного путевого датчика, то это свидетельствует о том, что сосуд завис в стволе и формируется сигнал на остановку подъемной машины.

В качестве путевых датчиков применяют бесконтактные магнитные датчики положения типа ВМ-64В, ВМ-66, ДКПУ.

Недостатки данного устройства: возможность контролировать момент зависания подъемного сосуда только при скорости выше расчетной; трудность установки и обслуживания большого количества датчиков, расположенных вдоль подъемного ствола.

Третий метод реализован в аппаратуре АЗН (разработчик ПАО «НИИГМ им. М. М. Федорова»). Источником информации о перемещении поверхности барабана служит преобразователь угол поворота-импульс, связанный с барабаном подъемной машины. Информация о перемещении подъемного сосуда формируется с помощью системы, состоящей из неподвижно натянутого вдоль ствола каната, на котором нанесены магнитные метки. Его используют также в качестве канала передачи информации и устройства считывания магнитных меток, укрепленного на подъемном сосуде. Недостаток данного типа устройств защиты – магнитные метки, которые со временем теряют свою магнитную индукцию, что снижает надежность устройства и требует их повторного нанесения.

Четвертый метод основан на измерении положения подъемного сосуда с использованием эффекта Доплера. Сущность последнего заключается в том, что если источник акустических или электромагнитных колебаний перемещается относительно неподвижного приемника сигналов, то частота принимаемых сигналов в приемнике изменяется в зависимости от скорости и направления перемещения источника колебаний.

Устройства защиты от напуска каната по изменению тока якоря приводного двигателя подъемной машины. Данный тип защиты базируется на том, что в момент зависания сосуда в стволе резко нарушается уравновешенность поднимающейся и опускающейся ветвей каната, что вызывает увеличение тока якоря двигателя. Преимущество такой защиты – достаточно записать реальные нагрузочные характеристики при движении пустых и груженых сосудов и затем сравнивать их разность с действительными значениями тока приводного двигателя.

Недостатки устройств защиты такого типа – «идеальную» расчетную тахограмму, с которой сравнивается рабочая, необходимо получить на основе достоверной информации о параметрах подъемной установки при различных нагрузках и режимах работы.

Устройства контроля момента зависания по усилию в частях отдельных элементов ШПУ. Наиболее распространены устройства с использованием магнитоупругих датчиков, которые устанавливают под подшипники копровых шкивов. Этот принцип положен в основу аппаратуры контроля натяжения канатов АКНК (разработан

УкрНИИВЭ) и АЗСП-2 (разработан ГНПК «Киевский институт автоматики»).

Сравнительный анализ преимуществ и недостатков аппаратуры АКНК и АЗСП-2 позволил выявить следующее:

аппаратура АКНК – более универсальная, так как осуществляет функции защиты (от зависания скипов, от перегрузки канатов), управления и сигнализации (контроль разгрузки и загрузки скипов); аппаратура АЗСП-2 обеспечивает только защитные функции.

Недостаток устройств защиты с использованием магнитоупругих датчиков – остаточные деформации. В связи с этим для исключения погрешности и ложного срабатывания необходима периодическая настройка и отладка аппаратуры в целом.

Устройства защиты от напуска каната, основанные на сравнении скоростей вращения (движения) отдельных элементов подъемной установки. В этих устройствах принято сравнение скорости опускающегося сосуда со скоростью вращения барабана или со скоростью движения поднимающегося сосуда. При рассогласовании скоростей подается сигнал на включение тормоза.

Скорость вращения барабана обычно контролируют с помощью тахогенератора, присоединенного к валу барабана. Для измерения скорости движения сосуда можно использовать средства, рассмотренные выше.

Устройства защиты от напуска каната, основанные на наличии протергивания тормозных канатов в амортизаторах или выдергивания в месте их крепления в зумпфе. В устройстве для защиты шахтной подъемной установки от напуска каната на тормозном канате ниже соединительной муфты установлен датчик измерения натяжения тормозного каната.

Настройка датчика измерения натяжения тормозного каната – сложная задача в связи с неизбежным отклонением от условий эксплуатации, изменением параметров свивки, учет которых резко усложняет конструкцию датчика и снижает его надежность, что особенно важно для повышения безопасности эксплуатации шахтной подъемной установки.

Аппаратура сигнализации и связи шахтного подъема АСШП (разработчик ЧАО «ДИГ») предназначена для координации действий обслуживающего персонала (рукоятчика, ствольных, их помощников и машиниста подъема) при выполнении спуско-подъемных работ в шахтных стволах. Аппа-

ратура также обеспечивает контроль выдергивания тормозных канатов.

Устройства защиты от напуска каната, основанные на контроле срабатывания парашюта. Ослабление натяжения головного каната приводит к срабатыванию парашюта, которое обусловлено: застреванием подъемного сосуда в проводниках жесткой армировки шахтного ствола или в разгрузочных кривых шахтного копра; динамическим упругим удлинением головного каната.

Состояние и срабатывание парашютных устройств, предназначенных для плавной остановки и удержания в аварийной ситуации подъемного сосуда в стволе, в настоящее время контролируются с помощью комплекса КТС БПУ (разработчик ПАО «НИИГМ им. М. М. Федорова») и аппаратуры «АССС-Днепр» (разработчик ООО НПП «Альянс-Д»).

Устройства защиты от напуска каната, основанные на контроле процесса загрузки подъемного сосуда. Важный фактор в цикле подъема шахтных установок – загрузка подъемного сосуда и формирование сигнала на автоматический пуск. При этом следует учесть начальное состояние всех механизмов и систем, обеспечивающих процесс движения.

Современные загрузочные устройства – сложный комплекс механизмов и устройств, последовательность работы которых строго определена. Сигнал готовности к пуску подъемной установки формируется на основании информации о состоянии всех ее элементов, включая загрузочное устройство. Внедрение аппаратуры весовой загрузки скипа АЗКП (разработчик ГП НТЦПЭ) повышает производительность работы шахтного подъема за счет учета затрат времени на операции загрузки (разгрузки) и движения скипа, а также позволяет повысить надежность и безопасность скипового подъема в результате стабилизации нагрузки на подъемную машину и введения защиты от перегрузки скипа.

Устройство контроля положения рамки на бадье. Для повышения безопасности работ при проходке, эксплуатации и обслуживании вертикальных стволов шахт, опасных по газу и пыли, оснащенных бадьей, применяют аппаратуру АКНК-1 (разработчик НПП «Украинская шахтная связь»).

Аппаратура обеспечивает:

- контроль положения рамки на бадье, фиксации зависания рамки и выдачи сигнала «Зависание рамки» в машинное отделение;

- защиту ШПУ от напуска каната в вертикальных стволах путем фиксации напуска каната и выдачи сигнала «Напуск» машинисту подъема.

Устройство защиты шахтной подъемной установки от проскальзывания каната. На многоканатных подъемных установках аварии связаны со скольжением канатов по канатоведущему шкиву и переподъемами сосудов. В большинстве случаев такие аварии со значительным материальным ущербом происходили из-за неэффективной работы блокировочных устройств и ошибочных действий обслуживающего персонала или машиниста подъема.

Сейчас на шахтах эксплуатируют систему контроля скорости движения шахтной подъемной установки «СКДС-ПУ» (разработчик ЗАО «СМНУ «Цветметналадка»), в состав которой входит аппаратура защиты от пробуксовки и проскальзывания канатов по шкиву трения (АЗП) (для многоканатных подъемных установок со шкивом трения), сельсинные указатели глубины (положения подъемных сосудов в стволе) и стрелочные указатели скорости движения подъемных сосудов.

Устройство защиты шахтной подъемной установки от превышения скорости и пробуксовки канатоведущего шкива. Многоканатные подъемные машины следует оснащать защитой от пробуксовки канатоведущего шкива при неподвижных канатах. Эта защита должна срабатывать в случае перегрузки подъемных сосудов или их застревания. Пробуксовка приводит к перегреву футеровки канатоведущего шкива и к ее тепловому разрушению.

Применяемая в настоящее время аппаратура защиты (АЗКД, разработчик ООО «Южэлектропроект») работает по принципу сравнения перемещений навивочной поверхности шкива и канатов. Датчик перемещения шкива – импульсный преобразователь, соединенный с валом подъемной машины, а датчик перемещения каната – импульсный преобразователь, соединенный с отклоняющим шкивом. Реальная уставка такого аппарата защиты определяется коэффициентом пересчета счетчиков и квантом путевых импульсов, а допустимый из условия перегрева футеровки путь скольжения каната – из теплового баланса работы трения и работы, необходимой для разогрева футеровки до ее размягчения. При движении подъемного сосуда вниз иногда происходит его застревание (зависание), которое обусловлено дефектом направляющих или искривлением ствола, а также попаданием посторонних предметов на проводники. В случае много-

канатной подъемной машины застревание сосуда вызывает пробуксовку канатоведущего шкива и срабатывание описанной выше защиты.

Устройство контроля и защиты на наклонных подъемах. Для безопасной перевозки людей наклонным подъемом применяют комплекс СЛНП (ЗАО «Комтек»), который обеспечивает:

- подачу сигналов «Тихо вверх», «Вверх», «Тихо вниз», «Вниз», «Стоп» из вагонетки поезда и вне вагонетки при проведении ремонтных работ в стволе;

- воспроизведение указанных сигналов в машинном отделении на сигнальном табло с фиксацией и акустическим сопровождением этих сигналов;

- автоматическую подачу сигналов «Стоп» при неисправности канала передачи;

- непрерывную работу передатчика сигналов от автономного источника питания в течение не менее 30 ч.

Отличительная особенность комплекса – передача сигналов по радиоканалу с использованием в качестве волновода изолированного провода, проложенного вдоль выработки.

Аппаратура управления рудничным транспортом АУРТ (ЧАО «ДИГ») предназначена для сигнализации и связи между кондуктором и машинистом дороги, для управления движением подвижного состава дороги, а также для задания скорости его движения в местном и дистанционном режимах работы. Область применения – людские подъемные установки в наклонных выработках с канатной откаткой, канатные монорельсовые и напочвенные дороги.

Основные недостатки известных устройств и методов защиты от зависания сосуда в стволе:

- контроль прогиба струны имеет ограничение применения по глубине ствола;

- устройства с тензометрическими датчиками требуют периодической перенастройки защиты;

- устройства с передачей акустических или электромагнитных колебаний по тяговым канатам имеют низкую надежность и со временем теряют чувствительность;

- устройства защиты с нанесением на тяговый канат магнитных меток с течением времени требуют их периодического обновления;

- устройства контроля скорости и положения подъемного сосуда в стволе с формированием информации по перемещению барабана ШПУ не обеспечивают надежность контроля местоположения сосуда в стволе.

ШАХТНЫЙ ТРАНСПОРТ И ПОДЪЕМ

Учитывая недостатки, необходимо совершенствовать известные средства контроля зависания сосуда в стволе и разрабатывать новые методы, позволяющие решать возникающие задачи.

Проанализировав факторы, влияющие на эффективность эксплуатации ШПУ, можно установить следующие условия повышения эффективности и безопасности работы ШПУ:

комплексный характер автоматизации;

сокращение эксплуатационных расходов благодаря высокому качеству и надежности используемых технических средств и резкому снижению их разнообразия;

возможность прогнозирования и оптимизации процесса, а также диагностирования состояния оборудования и, как следствие, перехода к более экономичному обслуживанию его по состоянию, а не по времени;

предоставление оперативному, обслуживающему и руководящему персоналу полной и своевременной информации о текущих режимах работы ШПУ.

Для решения задачи повышения эффективности и безопасности эксплуатации ШПУ в НИИГМ им. М. М. Федорова по заданию Минэнергоуголь Украины разработан комплекс технических средств КТС ШПУ [4, 5], предназначенный для контроля и защиты шахтных подъемных установок от напуска каната в ствол, срабатывания парашютных устройств, выдергивания тормозных канатов в месте их крепления в зумпфе или продергивания их в амортизаторах, а также для контроля местоположения подъемного сосуда в стволе (рис. 2).

Комплекс КТС ШПУ выполняет следующие функции:

определение местоположения подъемного сосуда в стволе;

контроль срабатывания парашютных устройств, а также выдергивания тормозных канатов в местах их крепления в зумпфе или продергивания их в амортизаторах;

передачу на станцию машиниста сигналов от датчиков безопасности (например, напуска каната, закрытия решетки и прочее) и сигналов повреждения линии связи;

контроль исправности канала радиосвязи и заряда аккумулятора блока питания;

отображение на станции машиниста принятых командных сигналов «Вверх», «Вниз» и «Стоп» в звуковой и световой формах;

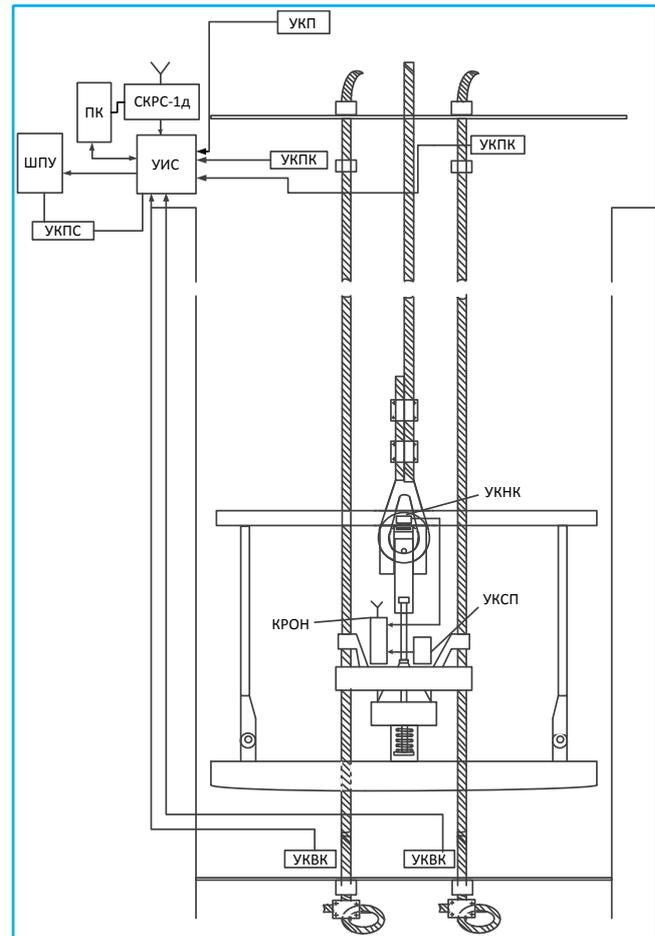


Рис. 2. Структурная схема и расположение блоков и устройств комплекса КТС ШПУ.



Рис. 3. Опытный образец комплекса КТС шахтной подъемной установки.

предоставление информации о контролируемых параметрах;

выявление и индикацию недопустимых или опасных отклонений от установленных значений параметров;

регистрацию и архивирование информации о контролируемых параметрах.

В состав КТС ШПУ входят устройства контроля состояния парашюта УКСП, контроля продергивания тормозных канатов УКПК, контроля положения сосуда У КП, контроля выдергивания тормозных канатов УКВК, индикации и сигнализации УИС, контроля наклона каната УКНК, контроля провисания струны каната У КПС, а также клетевая КРОН и стационарная СКРС -1д радиостанции.

Комплекс работает следующим образом. Информация от устройств контроля состояния парашюта УКСП и контроля наклона каната УКНК поступает в клетевую радиостанцию КРОН, сигнал с которой передается по радиоканалу на стационарную радиостанцию СКРС-1д и далее – на устройство индикации и сигнализации УИС. Сигналы от устройств контроля положения тормозных канатов УКПК, контроля выдергивания каната УКВК и контроля положения сосуда У КП поступают к устройству индикации и сигнализации УИС. С выхода УИС информация передается по интерфейсу RS232/484 на персональный компьютер ПК.

Анализ колебательных процессов каната позволил установить, что частота колебаний усилия в канате – в пределах 0,3–2,4 Гц при амплитуде 1,4–1,8 м от номинального натяжения, частоте поперечных колебаний 0,5–1,9 Гц. Для восстановления формы сигнала в соответствии с теоремой Котельникова необходимо передавать данные с частотой, большей в 2 раза.

Установлено, что контроль натяжения и наклона каната позволит зарегистрировать момент начала напуска каната для принятия оперативных мер (например, включение аварийного тормоза).

Для обнаружения аварийного события зависания клетки в стволе измеряют угол отклонений струны в окрестности точек набегания каната на барабан машины, где нижняя граница диапазона измеряемых углов

$$\bar{\psi} = \max(\bar{\psi}_1, \bar{\psi}_2),$$

где $\bar{\psi}_1$ и $\bar{\psi}_2$ – углы наклона струн к горизонту (нижняя и верхняя струны).

В нормальных эксплуатационных режимах работы подъемной установки максимальные углы от-

клонения струны от условного состояния находятся в интервале от 2 до 7° дуги в зависимости от исходных параметров системы. Угол внутри указанного интервала в каждом конкретном случае должен быть нижней границей измерительного устройства, иначе возможны ложные срабатывания защиты.

В институте разработано и утверждено в Минэнергоуголь Украины техническое задание на комплекс КТС ШПУ, а также изготовлен и испытан в лабораторных условиях экспериментальный образец.

Выводы. В работе проанализированы методы и средства контроля зависания сосуда в стволе. Рассмотрены преимущества и недостатки существующих устройств и предложен комплекс контроля срабатывания парашюта и продергивания тормозных канатов в амортизаторах.

Внедрение КТС ШПУ позволит повысить эффективность эксплуатации подъемной установки за счет качественного контроля параметров безопасности: срабатывания парашютных устройств; продергивания тормозных канатов в амортизаторах и определения местонахождения подъемного сосуда.

Экономического эффекта можно достичь за счет повышения безопасности эксплуатации подъемной установки, сокращения простоев и снижения эксплуатационных расходов на обслуживание ШПУ, улучшения и обеспечения комфортности условий труда обслуживающего персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правила безпеки у вугільних шахтах.* – Харків: Форт, 2010. – 244 с.
2. *Бежок В. Р.* Шахтний підйом / В. Р. Бежок, В. І. Дворников, І. Г. Манец, В. А. Пристром. – Донецьк: Юго-Восток, Лтд, 2007. – 624 с.
3. *Латыпов И. Н.* Обоснование и обеспечение безопасной эксплуатации шахтных барабанных подъемных установок: автореф. дисс. на соискание уч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины» / И. Н. Латыпов. – Екатеринбург, 2008. – 29 с.
4. *Пат. 97929* Україна, МПК В66С 13/04. Пристрій для виміру натягу та нахилу каната / М. О. Чехлатий, А. Ю. Грицаєнко, С. О. Євсюков та ін.; заявник і патентовласник ПАТ «НДІГМ ім. М. М. Федорова». – № а 2011 08953; заявл. 18.07.11; опубл. 10.02.12, Бюл. № 3. – 6 с.
5. *Пат. 105820* Україна, МПК В66В 5/12. Пристрій контролю спрацювання парашута та просмикування амортизаційного каната в амортизаторах / М. О. Чехлатий, В.А. Пристром; заявник і патентовласник ПАТ «НДІГМ ім. М. М. Федорова». – № а 2012 07948; заявл. 27.06.12; опубл. 25.06.14, Бюл. № 12. – 4 с.