

УДК 622:674.22

Средства контроля состояния проводников жесткой армировки вертикальных стволов шахт

Проанализированы существующие средства контроля состояния армировки в вертикальных стволах шахт. Рассмотрен разработанный НИИГМ им. М. М. Федорова комплекс средств контроля параметров армирования КСКА, позволяющий получать оперативную информацию о текущих показателях и характеристиках армировки.

Ключевые слова: шахта, ствол, профилирование проводников, средства контроля, измерительная станция, эффективность, безопасность работы подъемных установок, производительность шахты.

Контактная информация: antonydublin@gmail.com

Важнейшими проблемами эксплуатации шахтных стволов в Украине, как и во многих зарубежных странах, являются контроль за состоянием армировки и крепи вертикальных стволов, ремонт или замена крепи. Армировка существенно влияет на стоимость ствола (до 15 %), трудоемкость эксплуатации (до 10 %), продолжительность строительства, а также на производительность, надежность и экономичность работы подъемных установок. Армировка вертикальных стволов эксплуатируется в сложных климатических, горно- и гидрогеологических условиях, для которых характерны высокая влажность воздуха, наличие капежа и др.

При разработке полезных ископаемых подземным способом одна из наиболее важных проблем – обеспечение безопасности эксплуатации вертикальных стволов шахт. Однако на подземных рудниках осуществление своевременного контроля геометрических параметров жесткой армировки часто затруднено, особенно если глубина шахтных стволов значительна.

Обеспечить требуемый уровень надежности жесткой армировки вертикального ствола невозможно без организации в процессе эксплуатации периодических осмотров и проверок технического состояния основных ее конструктивных элементов и прежде всего проводников. Причем эффективность этих осмотров и проверок во многом определяется совершенством принятых методов технического обслуживания. Оценка эксплуатационного состояния армировки проводников традиционными методами не гарантирует выявления участков ствола, в которых концентрируются максимальные нагрузки на армировку при рабочем режиме работы подъемной установки.

Несвоевременный ремонт армировки может привести к аварии и, следовательно, к простоя шахтной подъемной установки (ШПУ). Так, на шахте им. Героев космоса произошла авария на клетевом стволе, вследствие которой были повреждены 10



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



А. Ю. ГРИЦАЕНКО,
инж. (ПАО «НИИГМ
им. М. М. Федорова»)



С. А. ЕВСЮКОВ,
инж. (ПАО «НИИГМ
им. М. М. Федорова»)

расстрелов, что вызвало двухсуточный простой установки.

Кроме того, необходимо периодически проверять состояние проводников и армировки с целью исключить аварийные ситуации и выполнить профилактический ремонт. Реализация мероприятий по повышению производительности ШПУ позволит сократить среднее время цик-

ла спуска–подъема за счет увеличения скорости движения подъемного сосуда. Это время можно использовать для периодического (ежесуточного) осмотра ствола и выполнения профилактических и ремонтных работ, что повысит безопасность эксплуатации подъемных установок.

Устойчивость движения сосуда определяется безразмерным параметром

$$\sigma = C_0 h^3 / (6EJ_{\text{пр}}),$$

характеризующим конструкцию армировки, в котором связаны между собой жесткость расстрела C_0 , момент инерции сечения проводника $J_{\text{пр}}$ и модуль упругости материала E . Шаг армировки h – это параметр, не связанный с износом конструктивных элементов и являющийся константой для данной конструкции. В эксплуатационных условиях в зависимости от соотношения фактических износов расстрельных балок и проводников параметры C_0 и $J_{\text{пр}}$ изменяются, что влечет за собой изменение статического параметра армировки σ и динамического параметра системы μ_0 , определяющего допустимые режимы работы подъемной установки.

В 2010–2015 гг. специалисты НИИГМ им. М. М. Федорова обследовали состояние армировки свыше 100 вертикальных стволов. Необходимость проведения работ была вызвана неудовлетворительным (в ряде случаев – аварийным) состоянием армировок, которое характеризуется:

- в расстрелах – наличием сквозных отверстий вследствие коррозии в агрессивной среде, деформацией в результате воздействия горного давления и падения в ствол различных предметов;

- на рабочих поверхностях проводников – в большинстве случаев износом, значительно превышающим предельные значения, нормируемые Правилами безопасности (пп. 7.8.1 и 7.8.2) [1]. В частности, износ рельсовых и деревянных проводников зависит от их профиля по длине ствола, центровки подъемного сосуда и состояния направляющих башмаков, износ проводников сварного коробчатого профиля – от профиля или отсутствия роликовых направляющих;

- в узлах крепления проводников к расстрелам – зажимные скобы не затянуты либо отсутствуют, «лежки» разбиты как в боковом,

так и в лобовом направлениях, большие зазоры и уступы на стыках проводников;

- искривленностью проводников и отклонением ширины колеи от проектной, что особенно характерно для стволов шахт ГП «Артемуголь».

По результатам обследований и расчетов в каждом конкретном случае разработан регламент эксплуатации армировки и предложены технические решения по поддержанию ее работоспособности.

Применение существующих технических средств при профилировании во многих случаях не позволяет объективно оценить состояние армировок вертикальных стволов и нередко дает искаженные результаты.

Цель исследований – изучение и разработка средств контроля текущего состояния проводников вертикальных стволов шахт с оценкой изменения степени износа проводников.

Надежность и безопасность работы подъемных установок вертикальных стволов шахт в значительной степени зависит от технического состояния системы подъемный сосуд–жесткая армировка. Жесткие армировки конструктивно отличаются большим многообразием в зависимости от типа и количества подъемных сосудов, вида и типоразмера проводников и расстрелов, их расположения относительно сосудов. В процессе эксплуатации под влиянием различных факторов нарушаются зазоры, снижается прочность элементов армировки и надежность их крепления, изменяются проектные параметры.

Анализ технического состояния армировки можно выполнять аппаратурой автоматического контроля или другими способами (механическим, оптическим, фотооптическим, ультразвуковым и др.), обеспечивающими требуемую точность.

При визуальном осмотре шахтного ствола с движущегося подъемного сосуда (со скоростью 1 или 0,3 м/с) можно выявить лишь грубые изменения геометрии оборудования, конечные остаточные деформации, большие зазоры. Скрытые дефекты оборудования ствола и износ проводников обнаружить при таком осмотре как правило невозможно. В настоящее время применяются методы инструментального контроля, позволяющие получить информацию о фактическом состоянии арми-

ровки и оперативно определить место ее аварийного состояния в условиях шахт.

Автоматизация процесса измерения износа проводников обеспечивает безопасность выполнения работ, повышение производительности труда в 10–15 раз по сравнению с ручным способом измерения, высокую точность и непрерывность. Систематический инструментальный контроль состояния проводников позволяет снизить аварийность и повысить срок службы стволов [1–3].

В горнорудной промышленности Великой Британии применяют телевизионный контроль ствола. В Германии для замера прямолинейности проводников успешно используют лазерные установки, получены удовлетворительные результаты по передаче замеров в шахтном стволе с движущейся клетки; применяют измерительное приспособление для определения горизонтальной нагрузки на подвесные устройства подъемных сосудов, возникающей в результате колебания головного каната во время подъема. Разработаны также два новых метода измерения динамических сил, действующих на подъемные сосуды при крайне стесненных условиях в стволе; для этого создан специальный измерительный башмак.

В ЮАР для определения места и степени нарушений правильности установки проводников в вертикальном стволе глубиной 1120 м применили лазерную установку, которую смонтировали на специальной раме, прикрепленной к шахтным проводникам. При этом вследствие работы компрессорных и насосных установок выявились вибрации лазерного луча и недостаточная точность измерений.

В Беларуси разработана автоматическая система контроля армировки АСКА1, которая позволяет контролировать техническое состояние армировки шахтного ствола и может быть многократно использована на предприятиях угольной промышленности [4].

Техническое состояние жесткой армировки контролируют путем:

- проведения в динамическом режиме (на скоростях 1–14 м/с) измерений параметров системы скип-армировка (горизонтальных ускорений подъемных сосудов, ширины колеи между проводниками, зазоров между жесткими предохранительными направляющими подъемных сосудов и проводниками);

- определения координат проявления названных параметров по высоте шахтного ствола с привязкой к ярусам расстрелов;

- подачи сигналов о превышении названными параметрами допустимых значений в режиме реального времени.

Измерения выполняют непрерывно во время работы шахтного подъема, а сигналы в систему сигнализации ШПУ подают при превышении измеряемыми параметрами допустимых значений, чем повышается безопасность эксплуатации шахтного подъема.

Система АСКА1 по конструктивным размерам, а также заложенному в ней принципу измерений не удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к современной измерительной аппаратуре.

Мониторинг состояния армировки в России осуществляется с помощью станции профилирования стволов шахт СПШ, которая применима для измерений при всех известных расположениях двух- и четырехрельсовых, коробчатых и деревянных направляющих проводников [5]. Станция не обеспечивает полноту контроля армировки шахтного ствола, так как не измеряются параметры, характеризующие кривизну проводников в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а также зазоры безопасности между подъемным сосудом и армировкой шахтного ствола.

На угольных предприятиях Украины применяется измерительная станция СИ (разработана ВНИМИ, изготавливается Харьковским заводом маркшейдерских инструментов), в которой использован оптический способ профилирования с применением механических устройств. Станция представляет собой комплекс приборов для измерения угловых отклонений проводников от проектного положения, расстояний между проводниками, определения их взаимного расположения и приборов для камеральной обработки полученных записей. Она также включает в себя средства доставки аппаратуры к месту работы. Маркшейдерская съемка ведется при прокатывании по проводникам укрепленной под подъемным сосудом на расстоянии 6–8 м каретки со смонтированными на ней приборами. Профилограммы по данным съемки строятся с помощью механического интегратора-полуавтомата [6].

Станция неудобна в эксплуатации из-за большой массы, габаритов и многоэлементности входящих в нее отдельных узлов. Кроме того, наличие маятниковых систем в измерителях искривлений проводников приводит к значительным погрешностям при регистрации отклонений проводников от вертикали. Регистрация параметров измерений на фотопленке и воценой бумаге требует больших затрат времени и труда при вычислительных и графических работах.

В НИИГМ им. М. М. Федорова разработаны устройство контроля проводников жесткой армировки двустороннего расположения УКП и комплекс средств контроля параметров армирования КСКА.

Устройство УКП (рис. 1). Предназначено для непрерывного контроля: ширины колеи направляющих проводников (расширение, сужение); износа направляющих; относительного смещения рабочих поверхностей проводников на смежных ярусах армировки; размеров уступов на стыках направляющих проводников [7].

Для контроля проводников жесткой армировки двустороннего расположения на корпусе подъемного сосуда 1 устанавливают бесконтактный датчик пути 6 (ультразвуковой, индуктивный и т. д.) и бесконтактные датчики измерения расстояния 2 и 3 до проводников 8 и 9 в лобовом направлении в горизонтальной

плоскости. На расстоянии, равном шагу армировки по отношению к датчикам 2 и 3, размещают датчики измерения расстояния 4 и 5, причем датчик 4 установлен в вертикальной плоскости с датчиком 2, а датчик 5 – в вертикальной плоскости с датчиком 3. Калибровку датчиков 2 и 4 осуществляют путем определения расстояния до точки, лежащей на проводнике 8, и датчиков 3 и 5 – до точки, лежащей на проводнике 9.

При движении подъемного сосуда (например, вниз) датчик пути 6 контролирует прохождение места соединения расстрельных балок, образующих ярус армировки, и формирует команду на определение удаления проводника 8 от датчика 2 ($\Delta L_{\text{п}}^1$), а также удаления проводника 9 от датчика 3 ($\Delta L_{\text{л}}^1$). Сигнал с выхода датчика 6 пути и датчиков 2 и 3 до проводников 8 и 9 поступает в блок 7 обработки информации, который определяет суммарное отклонение ширины колеи в лобовом направлении в горизонтальной плоскости ($\Delta L_{\text{п}}^1 + \Delta L_{\text{л}}^1$). Одновременно датчики 4 и 5 устанавливают соответственно расстояния $\Delta L_{\text{л}}^2$ до проводника 8 и расстояние $\Delta L_{\text{п}}^2$ до проводника 9 в лобовом направлении в горизонтальной плоскости на уровне следующего шага армировки. Блок 7 обработки информации определяет смещение правого проводника 8 ($\Delta L_{\text{п}}^1 - \Delta L_{\text{п}}^2$) и смещение левого проводника 9 ($\Delta L_{\text{л}}^1 - \Delta L_{\text{л}}^2$) в лобовом направлении в вертикальной плоскости на шаге армировки. По полученным результатам оценивают смещение поверхностей проводников в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Во время перемещения подъемного сосуда 1 (например, вниз) на следующий шаг армировки устройство выполняет аналогичные измерения по определению ширины колеи и относительного отклонения проводников 8 и 9 жесткой армировки. При этом блок 7 обработки информации сравнивает показания датчиков измерения расстояния 2 и 3 с показаниями датчиков 4 и 5 в данном месте контроля в предыдущем цикле измерения. Если показания датчиков находятся в пределах погрешности измерения, то процесс контроля проводников 8 и 9 продолжается. В случае значительных отклонений любая пара датчиков 2–5 измерения расстояния оценка технического состояния проводников жесткой шахтной армировки прекращается и блок 7 обработки информации формирует команду об

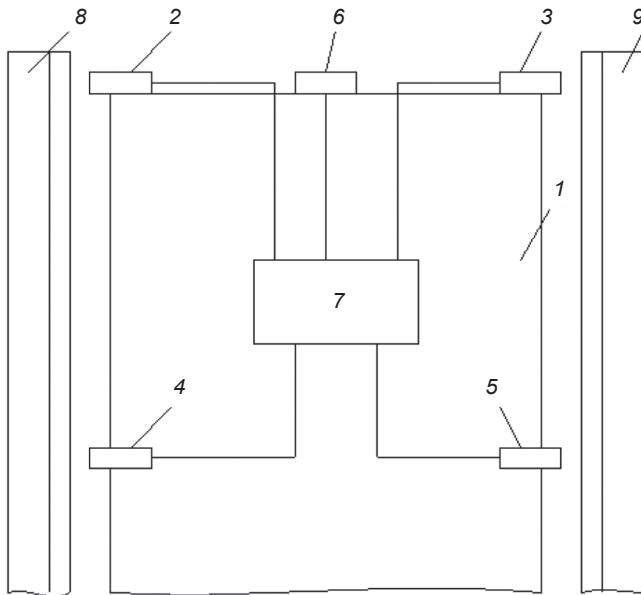


Рис. 1. Схема устройства контроля проводников жесткой армировки двустороннего расположения.

отказе соответствующего датчика. Такое решение позволяет в процессе контроля параметров армировки выполнять диагностику устройства.

Процесс контроля проводников шахтной армировки заканчивается после измерения горизонтальных и вертикальных отклонений по всей глубине ствола. Так, отклонения ширины колеи ΔL проводников двухстороннего расположения на стадии эксплуатации вследствие их износа и искривления в лобовом направлении определяются при условии обеспечения гарантированного перекрытия проводников направляющими башмаками скольжения с учетом упругого динамического изгиба проводников и граничного износа башмаков:

$$\Delta L = S - (\Delta_{бз} + 2\Delta_{пр} + \Delta_g + \Delta_r),$$

где S – глубина зева рабочего башмака скольжения в соответствии с п. 7.8.1 [1];

$\Delta_{бз}$ – максимально допустимый износ башмака в соответствии с п. 7.8.1 [1];

$2\Delta_{пр}$ – суммарный зазор между рабочими башмаками скольжения и проводниками при их установке в соответствии с п. 7.8.1 [1];

Δ_g – упругий динамический прогиб проводников, который определяется расчетом в соответствии

с методикой расчета жесткой армировки вертикальных стволов шахт;

Δ_r – гарантированное перекрытие проводника башмаком скольжения.

На основании анализа результатов проверки технического состояния проводников можно оперативно оценить отклонения ширины колеи от проектной и степень искривления проводников, что позволит разработать мероприятия по ликвидации нарушений и обеспечению устойчивой работы подъемной установки.

Комплекс средств контроля параметров армирования КСКА. Предназначен для периодических осмотров и проверок технического состояния в условиях шахтного ствола параметров армирования и выявления неисправностей, способных вызвать аварийную ситуацию.

Комплекс обеспечивает оперативный контроль отклонения ширины колеи от нормативных значений, предусматривает текущий контроль и регистрацию изменения ширины колеи в функции пути с последующим представлением информации на дисплее персонального компьютера (рис. 2).

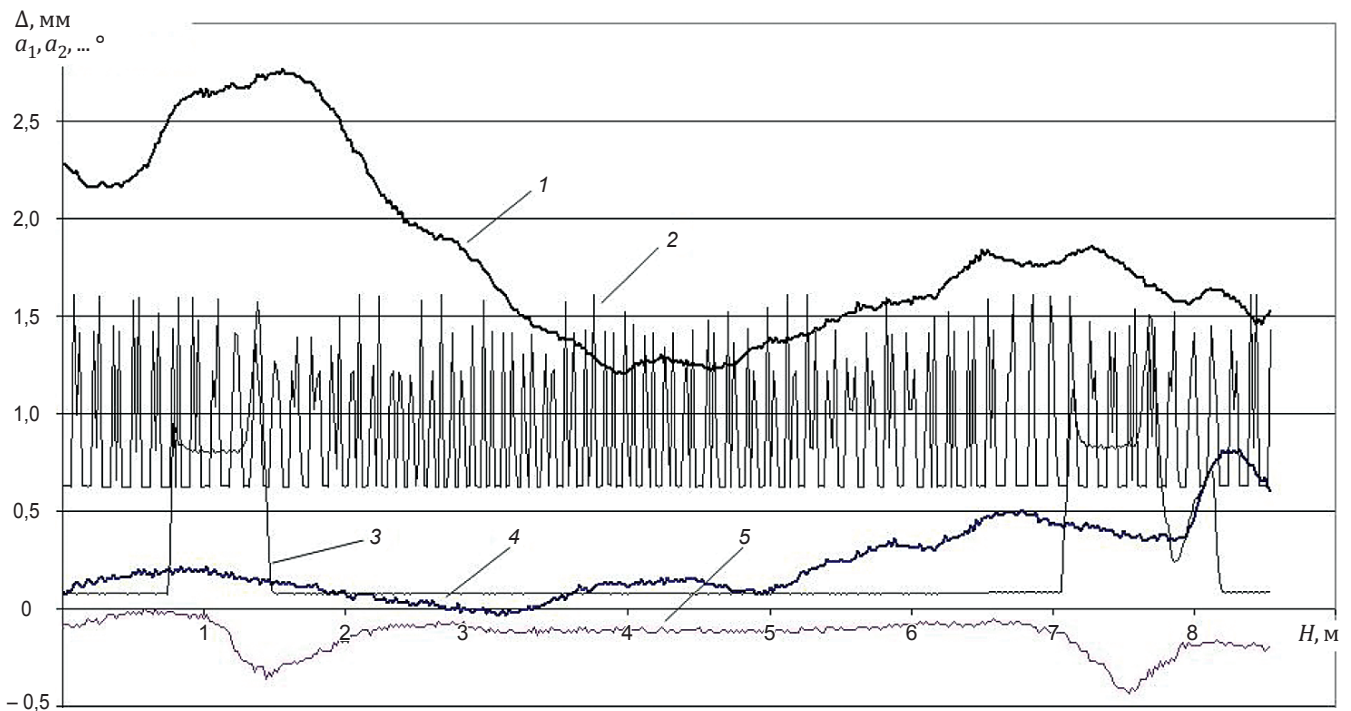


Рис. 2. Форма представления информации на ПЭВМ: 1 – отклонение ширины колеи от нормы Δ ; 2 и 3 – импульсы датчика пути и импульсы счетчика расстрелов; 4 и 5 – данные угловых отклонений проводников от вертикали соответственно α_1 и α_2 ; H – глубина ствола.

В состав комплекса входят ПЭВМ, а также устройства:

- контроля ширины колеи;
- контроля износа проводников колеи;
- контроля относительного смещения рабочих поверхностей проводников на сопредельном ярусе;
- зарядки батареи автономного питания.

Техническая характеристика КСКА

Контролируемые отклонения расстояния между проводниками, мм	50
Контролируемый износ проводников, мм	0-16
Контролируемые относительные смещения рабочих поверхностей проводников на смежных ярусах армировки, мм	0-10
Точность измерения наклона проводников, ...°	0,02
Точность измерения относительного смещения, мм	0,1
Масса, кг, не более	30
Климатическое исполнение	IP-67
Питание автономное, В	12
Напряжение заряда, В	220

Данные, предоставляемые комплексом, позволяют:

оперативно оценить техническое состояние армировки;

при текущей эксплуатации ствола на стадии зарождения дефекта выявить ярусы расстрелов, где повышенный уровень динамических нагрузок прежде всего приведет к повышенному износу проводников и создаст аварийную ситуацию;

после проведения ремонта армировки и работ на подъемном сосуде (замена проводников и др.) оперативно оценить качество работ и выявить оставшиеся локальные монтажные непрямолинейности профиля проводников.

В институте разработано и утверждено в Минэнергоуголь Украины техническое задание на комплекс средств контроля параметров армировки КСКА, а также изготовлен и испытан в лабораторных и шахтных условиях экспериментальный образец.

Выводы. Основные недостатки средств контроля состояния армировки в вертикальных шахтных стволах – недостаточная точность, малая надежность и частое несоответствие требованиям по искробезопасности для оборудования, использующегося на шахтах, опасных

по газу, пыли и внезапным выбросам, а также трудоемкость проведения профилировки.

На основе анализа существующих методов и средств контроля профилирования проводников вертикальных стволов шахт в НИИГМ им. М. М. Федорова разработан комплекс средств контроля параметров армировки КСКА, который позволяет оперативно получать, обрабатывать и анализировать информацию о текущих параметрах и характеристиках элементов армировки ствола, прогнозировать их изменения.

Институт располагает апробированными в течение многих лет методиками оценки технического состояния элементов армировки (включая износ расстрелов, проводников и направляющих башмаков), выбора допустимых предельных отклонений ширины колеи, установления допустимых значений суммарного износа элементов армировки с учетом требований Правил безопасности (п. 7.8.2) и выбора режимов эксплуатации армировок действующих подъемных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Правила безпеки у вугільних шахтах.* – Харків: Форт, 2010. – 244 с.
2. *Маркшейдерские работы при установке и эксплуатации шахтного подъемного оборудования* / [И. И. Добкин, В. Б. Лебедев, М. Н. Галинская и др.] – М.: Недра, 1983. – 221 с.
3. *Бежок В. Р.* Шахтный подъем / В. Р. Бежок, В. И. Дворников, И. Г. Манец, В. А. Пристром. – Донецк: Юго-Восток, Лтд, 2007. – 624 с.
4. *Пат.* ВУ 4783 Беларусь, МПК⁷ E21F 17/00. Автоматическая система контроля жесткой армировки шахтного ствола / А. Д. Смычник, П. В. Бунецкий, А. Г. Пастушенко, В. А. Сорокин; заявитель и патентообладатель ОАО «Белгорхимпром». – № 20080170; заявл. 29.02.08; опубл. 30.10.08. – 6 с.
5. *Пат.* 2098630 Российская Федерация, МПК⁷ E21 7/02. Станция для контроля параметров проводников шахтного ствола / Н. К. Файзулин, А. Ю. Алферов; заявитель и патентообладатель ОАО Фирма «Геомар». – № 20040706268; заявл. 02.08.1995; опубл. 10.12.1997. – 6 с.
6. *Травник Е. С.* Способ профилирования проводников станцией СИ 5-М в вертикальных стволах шахт / Е. С. Травник, П. Г. Артеменко, А. Б. Ягмур // Уголь Украины. – 2008. – № 2. – С. 19–23.
7. *Пат.* 77481 Україна, МПК⁷ G01C 7/00. Спосіб контролю параметрів провідників жорсткого армування двостороннього розташування та пристрій для його здійснення / Б. А. Грядущий, В. Й. Мьялковський, А. М. Коваль, М. О. Чехлатий, С. О. Євсюков, О. В. Карпунова; заявник і патентовласник ПАТ «НДІГМ ім. М. М. Федорова». – № 20040706268; заявл. 27.07.04; опубл. 15.12.06. – Бюл. № 12. – 6 с.