

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗНОСА ЖЕСТКОЙ АРМИРОВКИ ШАХТНЫХ СТОЛОВ НА ЕЕ ОСТАТОЧНУЮ ПРОЧНОСТЬ

С.Р. Ильин, С.С. Ильина*

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины,
Днепропетровск, Украина

*Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

Расстрелы и проводники армировки шахтных стволов в процессе эксплуатации подвергаются механическому износу из-за постоянного силового взаимодействия с подъемным сосудом и воздействию коррозионных факторов под влиянием шахтной среды. В процессе длительной эксплуатации износ армировки, вызванный этими процессами, оказывается неравномерным по длине проводников и расстрельных балок, а также по участкам, расположенным на разной глубине ствола. В связи с этим актуальной проблемой является исследование влияния параметров остаточных сечений металлоконструкций армировки на их прочностные характеристики при длительной эксплуатации.

Основными причинами износа армировки являются значительные знакопеременные отклонения проводников от вертикали, недостаточно эффективная работа роликовых направляющих подъемных сосудов и коррозионный износ от воздействия агрессивной шахтной среды. Из-за отсутствия норм и мероприятий по техническому надзору за состоянием расстрелов они наиболее часто оказываются механически самым слабым звеном в системе проводник – расстрел.

В статье показано, что скорости износа проводников в лобовой и боковой плоскостях различны и зависят от динамики системы сосуд – армировка. Проведенные исследования позволяют установить закономерности влияния геометрических параметров балок расстрелов и проводников на запасы прочности армировки, что помогает более эффективно подойти к выбору сортамента составляющих металлоконструкций в стволе при проектировании и ремонтах.

Ключевые слова: шахтный ствол, подъемный сосуд, армировка, проводник, расстрел, предохранительный башмак, кинематический зазор, износ, роликовые направляющие, динамическая нагрузка, коэффициент остаточной несущей способности, напряжение.

EFFECT OF SHAFT RIGID EQUIPMENT WEAR PARAMETERS ON ITS RESIDUAL STRENGTH

S.R. Il'in, S.S. Il'ina*

N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine,
Dnepropetrovsk, Ukraine

*National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine

Buntions and conductors of shaft equipment during operation are subjected to mechanical wear due to constant force interaction with conveyance and corrosive factors exposure affected by mine environment conditions. During prolonged operation shaft wear caused by these processes is uneven along the length of conductors and buntion beams, as well as within the sections located at different shaft depth. Considering this it is urgent to study the effect of parameters of residual section of metal wear equipment on their strength characteristics during the long-term use.

The main causes of equipment wear are significant reversed vertical deflection of conductors, lack of proper effectiveness of the work of roller guide vehicles and corrosion provoked by exposure to aggressive mine environment. Due to lack of standards and measures for technical supervision of buntions mechanically they prove to be most often the weakest unit in the «conductor – buntion» system.

The article shows that the wear rates of the conductors in the frontal and profile planes are different and depend on the dynamics of the «vehicle – equipment» system. The research made allows establishing the influence patterns of the geometric parameters of beams and conductors buntions on the equipment strength, which results in a more effective approach to choosing assortment of shaft metal components when carrying out design and repairs.

Keywords: shaft, vehicle, equipment, conductor, buntion, enclosed shoe, kinematic clearance, wear, rolling guide, dynamic force, residual bearing capacity coefficient, stress.

Введение

Армирование ствола находится под одновременным влиянием двух видов износа: коррозионного и механического. Коррозионный износ проводников, как правило, распределяется равномерно по сторонам поперечного сечения и по длине пролета между ярусами. Механический износ определяется уже собственными характеристиками системы сосуд – проводник, а именно характером и точками приложения контактных нагрузок со стороны башмаков к рабочим поверхностям проводников. Возможны различные варианты: скольжение с трением, ударно-циклическое кратковременное приложение, доминирующее приложение к лобовой грани, к одной из боковых, к двум боковым. Уровень нагрузок по участкам ствола также может существенно различаться.

В одном отделении ствола по его глубине могут встречаться несколько различных характеров приложения контактных нагрузок (фрикционное взаимодействие на протяженном участке ствола, ударно-циклическое, безударное с взаимодействием через роликовые направляющие). Это значит, что и характер износа проводников по участкам ствола также будет существенно разным.

Кроме того, воздействие коррозионных факторов на расстрелы армировки по сечению ствола и его глубине также не является однородным. Участки более агрессивного воздействия шахтных вод могут более кучно располагаться вблизи крепи ствола и вызывать интенсивную потерю сечения с одного из концов расстрела, не снижая прочности в остальных сечениях по его длине.

Такая ситуация требует проведения исследований влияния наиболее характерных случаев неоднородности параметров остаточных сечений металлоконструкций армировки на остаточные прочностные характеристики отдельного элемента (проводника или расстрела) и всего яруса в целом.

Анализ факторов, влияющих на износ проводников

Состояние рабочих поверхностей коробчатых проводников и вкладышей предохранительных башмаков, которое контролируется при ежедневных осмотрах сосудов и армировки, является показателем эффективности работы роликовых направляющих в системе сосуд – армировка. В идеальном случае, если ролики полностью выполняют свою функцию, жесткого контакта башмаков с проводниками не должно быть, а значит, не должно быть и механического износа рабочих поверхностей обоих элементов оборудования ствола и сосуда.

На практике, особенно в стволах с нарушенной геометрией, на определенных участках происходит интенсивный механический контакт башмаков с проводниками, результат которого в виде следов истирания на проводниках и вкладышах может быть однозначно зафиксирован при инструментальных измерениях остаточной толщины проводников. Исследование характера изменения остаточной толщины рабочих поверхностей проводников по годам позволяет определить фактическое состояние эффективности работы направляющих в лобовой и боковой плоскостях проводников в условиях конкретного ствола, имеющего участок с нарушенной геометрией в районе зоны сдвижения горных пород.

Признаком неэффективной работы роликовых направляющих является повышенный механический износ вкладышей предохранительных башмаков и рабочих поверхностей проводников, который характеризуется скоростью роста суммарных кинематических зазоров в лобовой и боковой плоскостях проводников отдельно. Он может быть выявлен при анализе рабочей документации на участке спуска-подъема предприятия путем сопоставления записей в книге выдачи нарядов на замену вкладышей предохранительных башмаков по отметкам

времени и первоначальной толщины вкладышей при установке.

В реальных условиях эксплуатации единственным параметром, который в двух смежных отделениях ствола, принадлежащих одной подъемной установке, может иметь эксплуатационные показатели, резко отличающиеся друг от друга, является профиль проводников. Он складывается на протяжении эксплуатационного периода ствола под влиянием совокупности факторов – ремонтных работ по замене участков изношенных проводниковых балок и сдвижения горного массива. Как правило, второй фактор действует в одинаковой степени на армировку всех грузоподъемных отделений, в которых лобовая/боковая ориентация проводников относительно расстрелов является одинаковой по отношению к доминирующему направлению сдвижения.

Первый фактор индивидуален для каждого отделения, поэтому результаты динамических испытаний сосудов в двух смежных отделениях одной подъемной установки очень часто разнятся между собой [1–4]. Проводники изготавливаются из гораздо более износостойкого материала, чем вкладыши башмаков, поэтому их скорость износа намного меньше и может быть заметна при анализе за гораздо более длительный промежуток времени, чем у башмаков, но ее усредненные значения за длительный период выявляют доминирующие свойства характера работы направляющих сосуда. Кроме того, к механическому истиранию еще добавляется коррозионный износ от воздействия агрессивной шахтной среды, который на вкладыши башмаков не успевает воздействовать в достаточной степени за время между их заменами.

Причин, влияющих на скорость износа по каждой рабочей грани проводника и по участкам ствола, несколько:

– перекося подъемного сосуда от смещения груза, деформации корпуса сосуда, разбаланса натяжений головных канатов в многоканатных ШПУ;

– изменяющийся по глубине ствола крутящий момент от головного каната;

– местные искривления проводников на ограниченных участках, приводящие к затиранию сосуда или повышенной силе прижатия башмаков к определенным граням;

– частые ударные нагрузки повышенного уровня на локальных участках.

При изменении скоростного режима работы сосуда меняется интенсивность механического фрикционного взаимодействия башмаков с проводниками. Во-первых, с увеличением скорости подъема растет число циклов проездов сосуда по стволу за единицу рабочего времени, например за рабочую смену, за месяц. Поэтому даже при неизменной величине контактных нагрузок пропорционально возрастет работа сил трения за рабочую смену и износ проводников [5–7].

Во-вторых, в зависимости от динамического состояния системы сосуд – армировка на определенных участках ствола контактные динамические нагрузки могут возрастать с определенной степенью пропорциональности. Это также увеличит работу сил трения за единицу рабочего времени.

Для разделения влияния этих двух факторов по готовым данным измерения износа необходимо ввести новый показатель – удельный износ за один рабочий цикл. Этот показатель рассчитывается как отношение износа, зафиксированного за определенный промежуток времени, на котором подъем работает с одной скоростью, к общему числу циклов за это время. Сравнивая между собой эти значения, полученные при работе на разных скоростях, можно получить следующие случаи:

– удельный износ (по каждой из граней проводников) на определенных участках ствола для всех скоростей практически не изменяется. Это значит, что работа сил трения на таких участках ствола определяется главным образом силами квазистатического прижатия башмаков

к проводникам, а уровень контактных нагрузок от изменения скорости не зависит;

– удельный износ меняется пропорционально изменению скорости. Это значит, что к силам квазистатического прижатия башмаков к проводникам, которые не зависят от скорости движения, добавляется еще и вклад ударных динамических нагрузок, зависящих от скорости подъема.

Изменения динамических нагрузок со скоростью характерно для проводников, имеющих вполне определенные нарушения вертикальности на участках ствола при отсутствии резонансного режима взаимодействия. Получение разных значений удельного износа для разных скоростей говорит о неблагоприятном состоянии профилей проводников. В этом случае удельный износ является диагностическим параметром состояния системы сосуд – армировка.

Наиболее явно этот показатель работает на подъемах, где длительное время эксплуатируются рабочие направляющие скольжения без роликовых амортизаторов. На них износ наиболее интенсивен и четко различается по рабочим граням проводников (лоб, бок), скорости подъема и участкам ствола. При необходимости его анализ точно показывает, куда надо ставить центрирующие упругие направляющие для снижения квазистатических нагрузок и на каких участках ствола неблагоприятное сочетание геометрических параметров профилей проводников (даже при соблюдении нормативного отклонения 10 мм на смежных ярусах) создает рост динамических нагрузок с ростом скорости [8, 9].

Анализ профилей рельсовых проводников в клетевом отделении слепого рудоподъемного ствола

В качестве примера реализации представленных выше положений выберем клетевую подъем одного из рудоподъемных стволов с односторонним боковым

расположением двух рельсовых проводников Р43 при шаге армировки 6 м. Данный подъем является наиболее представительным для анализа, так как в силу малой высоты рабочего участка подъема 153 м и интенсивного износа измерения остаточных сечений проводников, ведущиеся согласно регламентным работам по техническому обслуживанию, проводились практически еженедельно на каждом ярусе армировки, что дает обширный фактический материал для анализа.

Одним из самых существенных факторов, который влияет на износ проводников, является отклонения проводников от вертикальной оси расположения в стволе. Это может повлиять на рост динамических нагрузок и быстроту износа проводников.

Анализ маркшейдерских замеров отклонения проводников в стволе за 2004 и 2006 гг. показал, что отклонения проводников от вертикали за исследуемые годы практически не изменились. В условиях эксплуатации основной износ происходил в боковой плоскости граней головки рельсы. Графики профилей проводников на рабочем участке ствола показаны на рис. 1.

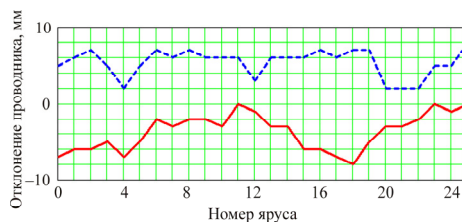


Рис. 1. Взаимное положение проводников в пределах кинематического зазора

По этим кривым видно, что боковые отклонения проводников являются незначительными. Значения нормативного параметра «отклонения проводников от вертикали на смежных ярусах» не превышают 10 мм и находятся в допустимых пределах.

На рис. 2 показан график суммарного кинематического зазора между башмаками и рельсовыми проводниками в бо-

ковой плоскости при номинальном зазоре 8 мм.



Рис. 2. Остаточный суммарный кинематический зазор между башмаками и проводниками

Из графика на рис. 2 видно, что колея имеет сужения на ярусах № 10–13, № 20–25. Эти сужения колеи могут являться потенциальной причиной стесненного движения сосуда в проводниках и возникновения повышенного уровня контактных нагрузок между проводниками и башмаками, зависящих от скорости движения сосуда.

Исследование износа рельсовых проводников в клетевом отделении слепого рудоподъемного ствола

В 2004 г. подъем эксплуатировался на скорости 6 м/с. Сильный износ боковых граней головок рельсов вызвал необходимость снизить скорость. В 2006 г. подъем эксплуатировался на скорости 3 м/с.

Исследование износа показывает, что в условиях эксплуатации он происходил главным образом по боковым граням головки рельсовых проводников. Скорость износа головки рельса составила 5 мм/год при скорости клетки 3 м/с и 10 мм/год при скорости 6 м/с, т.е. двукратное повышение скорости подъема привело пропорционально к двукратному росту скорости износа.

Если нагрузка на проводники на разных скоростях подъема является неизменной, то суммарная работа сил трения башмаков по проводнику за год пропорциональна годовой интенсивности работы подъема, а удельный износ за цикл одинаков на всех скоростях движения.

Анализ фактических данных показывает, что интенсивность работы подъема в 2006 г. на 3 м/с составила $N_3 = 2100 \cdot 12 = 2,52 \cdot 10^4$ цикл/год, а на скорости 6 м/с $N_6 = 2946 \cdot 12 = 3,52 \cdot 10^4$ цикл/год. Это значит, что отношение интенсивностей работы подъема составляет

$$N_{6,3} = \frac{N_6}{N_3} = \frac{35\,352}{25\,200} = 1,40. \quad (1)$$

В то же время анализ износа показал, что с ростом скорости удельный износ проводников растет. На скорости 3 м/с он составил $k_3 = 1,984 \cdot 10^{-4}$ мм/цикл, а на 6 м/с – $k_6 = 2,829 \cdot 10^{-4}$ мм/цикл, т.е. отношение удельных износов

$$k_{6/3} = \frac{k_6}{k_3} = \frac{2,829 \cdot 10^{-4}}{1,984 \cdot 10^{-4}} = 1,43. \quad (2)$$

Видно, что удельный износ боковых поверхностей проводников при скорости 6 м/с больше, чем на скорости 3 м/с на 43 %. Это говорит о том, что в стволе есть участки проводников, на которых контактные нагрузки растут с ростом скорости. Следовательно, в данном случае основной причиной повышенного износа пар башмак – проводник является суммарное действие квазистатического трения, не зависящего от скорости и вызванного смещением груза в подъемном сосуде, а также динамических нагрузок, увеличившихся со скоростью движения, на проводники.

Поскольку данный уровень износа является очень значительным и замена проводников требует дополнительных капитальных затрат, то в данном случае без изменения основных технических параметров подъема целесообразно использовать опыт предприятий, эксплуатирующих рельсовые проводники с роликовыми амортизаторами, центрирующими сосуд в бесконтактном режиме относительно проводников [10].

Анализ влияния износа на показатели остаточной прочности коробчатых проводников и расстрелов армировки скипового подъема рудоподъемного ствола

В качестве базового примера рассмотрим конструкцию яруса армировки скипового рудоподъемного ствола, приведенную на рис. 3.

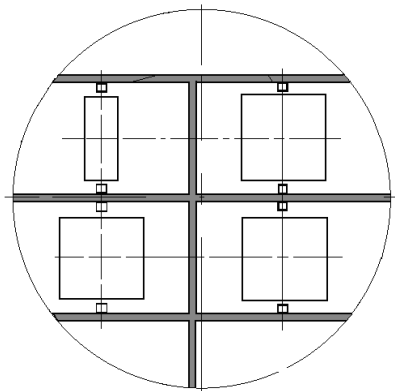


Рис. 3. Сечение ствола

На рис. 4–7 приведены графики распределения по глубине ствола коэффициентов потери моментов сопротивления проводников № 7/8 и двух расстрелов скипового отделения ствола. Они показывают величину остаточной опорной жесткости элемента армировки (в процентах) на каждом ярусе на момент обследования по отношению к проектной. Значения коэффициента несущей способности >1 соответствуют участкам, на которых в процессе текущих ремонтных работ была произведена замена проводников на новые, с большей, чем было предусмотрено первоначальным проектом, толщиной стенок.

Анализ этих графиков показывает, что балки центрального скипового расстрела от поверхности сохранили 50–95 % своей первоначальной несущей способности в основном по всей глубине ствола.

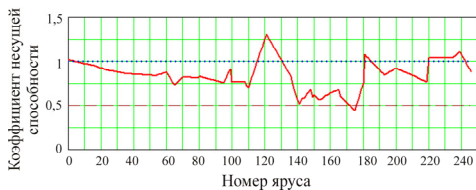


Рис. 4. График коэффициентов остаточной несущей способности проводника 7

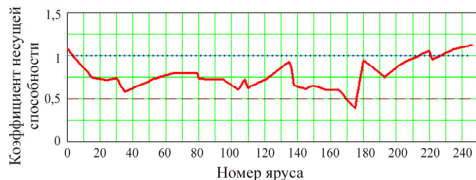


Рис. 5. График коэффициентов остаточной несущей способности проводника 8

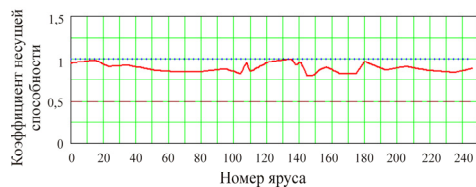


Рис. 6. График коэффициентов остаточной несущей способности центрального скипового расстрела ствола

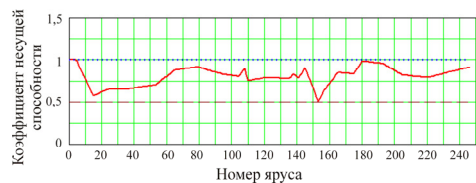


Рис. 7. График коэффициентов остаточной несущей способности южного скипового расстрела ствола

Балки южного скипового расстрела сохраняют до 50–95 % несущей способности от поверхности в основном по всей глубине ствола.

Балки проводника № 7 сохраняют более 50 % несущей способности по всей глубине ствола от первоначальной ($180 \times 180 \times 12$ мм), кроме ярусов № 172–175, где она снижена до 45 %. На ярусах № 115–130, 180–185, 219–242 она состав-

ляет более 100 % по отношению к проектной, потому что там стоят проводники (180 × 180 × 14 мм и 180 × 180 × 16 мм).

Балки проводника № 8 сохраняют более 60 % несущей способности в основном по всей глубине ствола, кроме участка ярусов № 164–175, где она снижена до 38 %. На ярусах № 213–221, 226–247 она составляет более 100 %, потому что там стоят проводники (180 × 180 × 14 мм и 180 × 180 × 16 мм).

Эти графики показывают, что в реальных промышленных условиях потеря несущей способности элементов армировки при длительной эксплуатации является значительной. Это основная причина необходимости разработки методов и средств снижения контактных нагрузок со стороны подъемных сосудов, которые возникают в данном случае из-за искривленности профилей проводников, вызванной нарушением геометрии стволов в зонах сдвижения горных пород.

Анализ влияния потери сечения проводников и расстрелов на параметры их напряженно-деформированного состояния

Конструкция яруса армировки ствола, показанная на рис. 3, является очень распространенной, но в зависимости от требуемой по проекту интенсивности подъема может содержать различные типоразмеры балок расстрелов и проводников. Традиционно применяются двутавры № 27, 27а*, 27С, 27Са, 36, 36С. Для подъемов высокой грузоподъемности (22–45 т) на рудоподъемных стволах применяются двутавры № 36С и проводники 160 × 160 × 12 мм, 180 × 180 × 12, 200 × 200 × 12 мм. В стволах с меньшей грузоподъемностью сосудов используются различные типоразмеры двутавров № 27 и проводники 160 × 160 × 12 мм.

Учитывая, что основное количество подъемов имеют среднюю грузоподъемность и шаг армировки 4 м, проведем исследование изменения параметров на-

пряженно-деформированного состояния боковых расстрелов (см. рис. 3) под действием единичной силы 10 кН, приложенной к проводнику в ярусе в боковом и лобовом направлениях для типоразмерного ряда двутавров № 27 и проводников сечением 160 × 160 × 12 мм, 160 × 160 × 14 мм, 160 × 160 × 16 мм в зависимости от первоначальных толщин стенок и степени их износа. Исследование выполним методом конечно-элементного моделирования в системе SolidSimulation.

На рис. 8 приведены графики изменения максимальных напряжений в расстреле в зависимости от первоначальной толщины стенки проводников в интервале 12–16 мм.

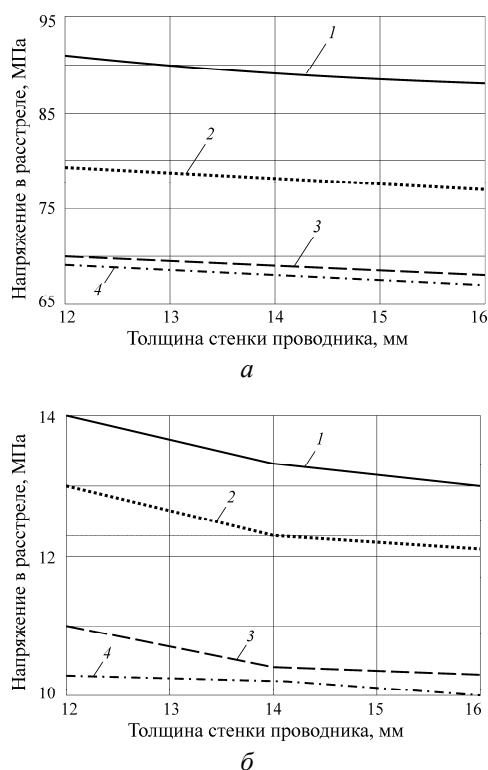


Рис. 8. Максимальные напряжения в расстреле в зависимости от первоначальной толщины стенки проводника: а – лобовое приложение силы; б – боковое приложение силы: 1 – двутавр № 27; 2 – двутавр № 27а*; 3 – двутавр № 27С; 4 – двутавр № 27Са

Из сравнения кривых 1 и 4 видно, что выбор в качестве расстрелов балок № 27 вместо № 27Са приводит к тому, что с проводником и $160 \times 160 \times 12$ мм, и $160 \times 160 \times 16$ мм запас прочности системы проводник – расстрел по наиболее слабому звену – расстрелу – снижается до 31–32 %. В то же время утолщение стенки проводника с 12 до 16 мм увеличивает тот же запас прочности системы только на 3–3,5 %.

Сравнение результатов, представленных на рис. 8, а и 8, б, показывает, что в данной системе проводник – расстрел боковое приложение силы к проводнику с любой толщиной стенки создает напряжения в расстреле в 6,5–6,7 раз меньше, чем лобовое приложение такой же силы.

На рис. 9 приведен график зависимости напряжения в расстреле от его износа в системе расстрел № 27а – проводник $160 \times 160 \times 12$ мм. При расчете считается, что все полки и стенка проводника одинаково снижают свою толщину до 6 мм, а проводник остается неизменного сечения.

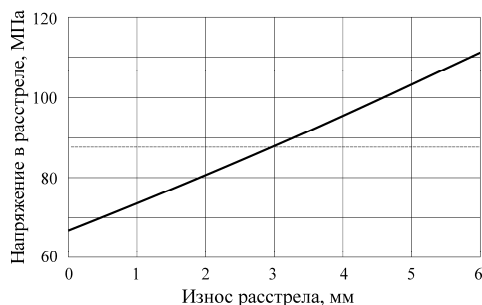


Рис. 9. График зависимости напряжения в расстреле от его износа в системе расстрел № 27а – проводник $160 \times 160 \times 12$ мм

Из анализа графика на рис. 9 видно, что при снижении толщины элементов расстрела до 6 мм (т.е. на 47–57 % от первоначального размера) его запас прочности снижается на 67 % даже при использовании в системе нового проводника.

Положениями действующих нормативных документов в системе сосуд – армировка регламентированы только значения допустимых остаточных толщин стенок коробчатых проводников. Согласно п. 8.2 Правил¹ металлические коробчатые проводники подлежат замене при износе свыше половины толщины стенки.

В настоящее время предприятия на стадии длительной эксплуатации при ремонте армировки начали применять в качестве проводников новые виды проката с утолщенными стенками. При этом в ряде случаев в качестве проводников стали применяться цельнотянутые профили типа «квадратная труба» сечением $160 \times 160 \times 14$ мм, $160 \times 160 \times 16$ мм, $180 \times 180 \times 14$ мм, $180 \times 180 \times 16$ мм. Согласно вышеуказанному положению проводники подлежат замене при износе выше 7–8 мм на сторону.

В таких случаях при проведении обследований армировки специализированными организациями возникает определенная коллизия, которая заключается в том, что при использовании проектного профиля с толщиной стенки 12 мм армировка согласно нормативным положениям должна сохранять свою работоспособность не более чем до остаточной толщины стенки 6 мм (половина первоначальной). В то же время при установке нового утолщенного профиля допустимая остаточная толщина, равная половине толщины новой стенки, составляет 7–8 мм, что объективно дает предприятию резерв по износу (до 1–2 мм) и соответствующему времени предельной эксплуатации по отношению к проектным параметрам. Такие случаи не учтены действующей нормативной документацией и становятся правомочными только в результате заключения специализированной организацией, хотя прогрессив-

¹ НПА ОП-10.0-1.01-10 Правила безпеки у вугільних шахтах. Харків: ФОРТ, 2010. С. 244.

ность использования указанных технических решений совершенно очевидна.

Многочисленные обследования армировок вертикальных стволов с динамическими испытаниями систем сосудов – армировка и деформационно-прочностными расчетами, проведенными авторами, показывают, что по критерию прочности наиболее слабыми звеньями в современных конструкциях армировки оказываются не проводники, а расстрелы. В то же время анализ нормативной документации показывает, что на данный момент ни в рудной, ни в угледобывающей промышленности не нормируется предельно допустимый износ расстрелов и, в отличие от проводников, не установлены меры по контролю их износа, сроки его проведения, не определены нормативные критерии браковки расстрелов по допустимому износу или мероприятия по освидетельствованию армировки в зависимости от степени износа расстрелов.

Такое положение в условиях длительной эксплуатации стволов, превышающей 40–50 лет, повышенного коррозионного и механического износа металлоконструкций в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях требует введения на государственном

уровне нормативных положений по параметрам допустимого износа расстрелов или же проведения процедуры их специализированного технического обследования при износе расстрелов свыше 20 %, с определением сроков и динамических режимов дальнейшей эксплуатации подъема.

Заключение

В процессе длительной эксплуатации прочностные параметры, характеризующие несущую способность участков армировки, приобретают существенно неоднородный характер распределения по глубине стволов.

Параметр «относительный износ проводника за цикл спуска-подъема» является самостоятельным диагностическим параметром, который интегральным образом характеризует эффективность работы центрирующих роликовых направляющих подъемного сосуда и степень нарушения вертикальности проводников армировки.

В системе проводник – расстрел наиболее механически слабым звеном в условиях износа зачастую оказываются расстрелы из-за отсутствия норм их браковки и мероприятий по техническому надзору за их состоянием.

Список литературы

1. Комплексное исследование армировки рудоподъемного ствола / А.Е. Гавруцкий, И.Л. Артемов, М.А. Квартюк [и др.] // Горный журнал. – 1988. – № 12. – С. 36–38.
2. Гаркуша Н.Г., Дворников В.И., Куриленко В.К. Определение горизонтальных нагрузок на жесткую армировку вертикальных шахтных стволов // Шахтное строительство. – 1969. – № 7. – С. 16–18.
3. The Experience Of Dynamic Apparatus Control And Estimation Of Exploitation System Safety “Vessel – Reinforcement” Of Vertical Mining Shafts / S.R. Iljin, B.S. Posled, L.A. Adorskaja, V.K. Radchenko, I.S. Iljina, S.S. Iljina // Transport szybowy / Instytut Techniki Gornizej. – Gliwice, 2013. – P. 163–175.
4. Ильин С.Р., Трифанов Г.Д., Воробель С.В. Повышение безопасности эксплуатации шахтных стволов путем динамического мониторинга систем «сосуд – армировка» портативными измерительными станциями // Горное оборудование и электромеханика. – 2013. – № 1. – С. 2–8.
5. Ильин С.Р., Трифанов Г.Д., Воробель С.В. Комплексные экспериментальные исследования динамики скипов рудоподъемного ствола // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 5. – С. 30–35.
6. Ильин С.Р., Трифанов Г.Д., Воробель С.В. Динамический контроль состояния армировки // Рудник будущего: проекты, технологи, оборудование: сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А.Н. Земскова. – Пермь: Рейкьявик, 2009. – Вып. 5. – С. 130–132.

7. Воробель С.В., Князев А.А. Динамическое обследование жесткой армировки шахтных стволов // Проблемы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых в Пермском крае: материалы краевой науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – С. 195–201.
8. Ильин С.Р., Трифанов Г.Д. Динамическая диагностика систем «сосуд – армировка» вертикальных шахтных стволов // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 8. – С. 29–34.
9. Воробель С.В., Трифанов Г.Д. Влияние диаграммы скорости на динамические нагрузки в системе «подъемный сосуд – жесткая армировка» и деформацию рамы подъемного сосуда // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 12 – С. 16–19.
10. Prowadnica toczna typu PTS-120 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.zbuiand.com.pl>.

References

1. Gavrutskii A.E., Artemov I.L., Kvartiuk M.A. [et al.]. Kompleksnoe issledovanie armirovki rudopod"emnogo stvola [Integrated study of rock shaft equipment]. *Gornyi zhurnal*, 1988, no. 12, pp. 36–38.
2. Garkusha N.G., Dvornikov V.I., Kurilenko V.K. Opredelenie gorizontal'nykh nagruzok na zhestkuiu armirovku vertikal'nykh shakhtnykh stvolov [Determination of horizontal stress on vertical shaft hard equipment]. *Shakhtnoe stroitel'stvo*, 1969, no. 7, pp. 16–18.
3. Iljin S.R., Posled B.S., Adorskaja L.A., Radchenko V.K., Iljina I.S., Iljina S.S. The Experience Of Dynamic Apparatus Control And Estimation Of Exploitation System Safety “Vessel – Reinforcement” Of Vertical Mining Shafts. *Transport szybowy*. Gliwice: Instytut Techniki Gorniczej, 2013, pp. 163–175.
4. Il'in S.R., Trifanov G.D., Vorobel' C.V. Povyshenie bezopasnosti eksploatacii shakhtnykh stvolov putem dinamicheskogo monitoringa sistem “sosud – armirovka” portativnymi izmeritel'nymi stantsiiami [Improving shaft exploitation safety through dynamic control of system «Vessel – Reinforcement» by portable measurement stations]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2013, no. 1, pp. 2–8.
5. Il'in S.R., Trifanov G.D., Vorobel' S.V. Kompleksnye eksperimental'nye issledovaniia dinamiki skipov rudopod"emnogo stvola [Integrated experimental research of rock shaft skips dynamics]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2011, no. 5, pp. 30–35.
6. Il'in S.R., Trifanov G.D., Vorobel' S.V. Dinamicheskii kontrol' sostoianii armirovki [Dynamic control of reinforcement conditions]. *Sbornik trudov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Rudnik budushchego: proekty, tekhnologii, oborudovanie”*. Perm', 2009, no. 5, pp.130–132.
7. Vorobel' S.V., Kniazev A.A. Dinamicheskoe obsledovanie zhestkoi armirovki shakhtnykh stvolov [Dynamic survey of steel shafts hard reinforcement]. *Materialy kraevoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh “Problemy kompleksnogo osvoeniia mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh v Permskom krae”*. Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007, pp. 195–201.
8. Il'in S.R., Trifanov G.D. Dinamicheskaja diagnostika sistem “sosud – armirovka” vertikal'nykh shakhtnykh stvolov [Dynamic diagnostics of the system «Vessel – Reinforcement» of vertical mining shafts]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2009, no. 8, pp. 29–34.
9. Vorobel' S.V., Trifanov G.D. Vliianie diagrammy skorosti na dinamicheskie nagruzki v sisteme “pod"emnyi sosud – zhestkaia armirovka” i deformatsiiu ramy pod"emnogo sosuda [Influence of time logs on dynamic loading in system “conveyence – hard reinforcement” and deformation of conveyence frame]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2011, no. 12, pp. 16–19.
10. Prowadnica toczna typu PTS-120, available at: <http://www.zbuiand.com.pl> (accessed 15 December 2013).

Об авторах

Ильин Сергей Ростиславович (Днепропетровск, Украина) – кандидат технических наук, заведующий лабораторией проблем диагностики и испытаний шахтных подъемных комплексов Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (49005, г. Днепропетровск, ул. Симферопольская, 2а; e-mail: iljin_sr@mail.ru).

Ильина Светлана Сергеевна (Днепропетровск, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики Национального горного университета (49027, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19; e-mail: svetailjina@gmail.com).

About the authors

Sergei R. Il'in (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Chief of the Laboratory of Diagnostics and Tests of Mining Hoisting Plants Problems, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine (49005, Simferopol'skaia st., 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine; e-mail: iljin_sr@mail.ru).

Svetlana S. Il'ina (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mining Mechanics, National Mining University (49027, Karla Marksa av., 19, Dnepropetrovsk, Ukraine; e-mail: svetailjina@gmail.com).

Получено 3.04.2014

Просьба сослаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Ильин С.Р., Ильина С.С. Влияние параметров износа жесткой армировки шахтных стволов на ее остаточную прочность // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 11. – С. 77–87.

Please cite this article in English as:

Il'in S.R., Il'ina S.S. Effect of shaft rigid equipment wear parameters on its residual strength. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2014, no. 11, pp. 77–87.