ГОРНОЕ ДЕЛО

DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.8
УДК 622.673.1

© Самуся В.И., Ильин С.Р.,
Ильина И.С., Ильина С.С., 2015

ФАКТОРЫ НАРУШЕНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ СИСТЕМ СОСУД–АРМИРОВКА В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

В.И. Самуся, С.Р. Ильин, И.С. Ильина, С.С. Ильина

Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

Определены факторы, вызывающие неустойчивость динамических процессов в шахтных подъемных установках. Показано, что рассмотренные процессы могут приводить к существенному снижению уровня безопасности работы систем сосуд–армирование вертикальных стволов.

Установлено, что угловое отклонение оси подъемного сосуда от вертикали, вызванное искривлениями профилей проводников и/или горизонтальным смещением центра масс груза в сосуде, приводит к появлению в подъемной установке динамического эффекта влияния вертикальных колебаний головного каната на горизонтальные колебания подъемного сосуда в армировке. Рассмотрены источники интенсификации вертикальных колебаний канатов поднимающейся и опускающейся ветвей установки в рабочих режимах и режиме торможения.

Показано, что в многоканатных подъемных установках со шкивом трения динамические усилия в поднимающейся ветви канатов за счет фрикционного взаимодействия с футеровкой передают гармонические возмущения с частотой колебаний поднимающегося сосуда на верхние концы канатов сбегающей ветви. В результате суперпозиции этих возмущений с собственными колебаниями опускающегося сосуда на каждом цикле подъема на фиксированном участке ствола, где частоты колебаний обеих ветвей становятся близкими по значению, в опускающейся ветви происходит кратковременное нарастание вертикальных колебаний опускающегося сосуда и его горизонтальная раскачка с ударными нагрузками на армировку.

Показано, что упругость привода подъемной машины приводит к возникновению эффекта взаимосвязанности вертикальных колебаний канатов поднимающейся и опускающейся ветвей. При этом эффекте на участке ствола, где собственные частоты колебаний обеих ветвей установки становятся близкими по значению, за короткое время происходит интенсивное изменение амплитуд вертикальных колебаний обоих сосудов, которое является источником возбуждения ударных нагрузок на армировку.

Выявлено, что на участках изменения линейной скорости работы подъемной установки в рабочих режимах и режиме предохранительного торможения происходит наибольшая по уровню интенсификация вертикальных колебаний канатов. При этом горизонтальные нагрузки на армировку могут значительно превышать уровень нагрузок при описанных выше динамических эффектах.

В работе исследовано влияние искривления профилей проводников на уровень возникающих динамических нагрузок на армировку. Приведена графическая схема, иллюстрирующая по ярусам ствола причинно-следственную связь между уровнем запасов прочности проводников и расстрелов, уровнем их износа, кривизны профилей проводников и контактными нагрузками. Приведены рекомендации по снижению уровня аварийной опасности эксплуатации армировки за счет уменьшения контактных нагрузок в рабочих режимах и режиме предохранительного торможения подъемной установки.

Ключевые слова: шахтный ствол, скип, клеть, армировка шахтного ствола, динамика шахтных подъемных установок, система сосуд–армирование, предохранительный башмак, коробчатый проводник.

FAILURE FACTORS OF THE VESSEL-ARMOR SYSTEMS IN COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS OF VERTICAL SHAFTS

V.I. Samusia, S.R. Iliin, I.S. Iliina, S.S. Iliina

National Mining University of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine

The factors causing instability of dynamic processes in the mine hoisting installations are determined. It is shown that considered processes can lead to a significant reduction in the safety of systems Vessel-Armor of vertical shafts.

It is determined that the angular deviation of lifting vessel axis from vertical caused by curved profile of conductors and/or horizontal movement from the center of cargo gravity in a vessel leads to dynamic influence of vertical oscillations of head cable on the horizontal oscillations of lifting vessel in armor.

Intensification of the vertical oscillations of the cable leads to synchronic stimulation of angular oscillations of the lifting vessel in the kinematic gaps between conductors and drive shoe safety with transition to beat-cyclic mode of loading and armor of the vessel. The sources of stimulation of the vertical oscillations cables of ascending and descending installation branches in operating and braking mode.

It is shown that in the lifting apparatus with multiple cables that has friction pulley dynamic forces in ascending branch transmit harmonic perturbations with frequency of oscillations of lifting vessel to the top ends of cable. It happens due to the frictional interaction with brickwork. As a result of superposition of such perturbations with its own oscillations of lowering vessel on every single cycle of lifting in certain shaft interval, where frequencies of each branches are close in the lowering branch, short increase in vertical oscillations of lowering vessel and its horizontal pitch with beats on armor are observed.

It is shown that the elasticity of the drive hoisting machine causes appearance of interconnectedness of the vertical oscillations of lifting and lowering branches cables. During such effect in shaft interval, where natural frequencies of the two installation branches are close in value in a short time there is an intensive change in the amplitude of the vertical oscillations of both vessels, which is a source of stimulation of blast stresses on the armor.

It was determined that on the interval of change of linear speed of the lifting installation at work and safety braking modes there is highest intensification of vertical cable oscillations. Wherein, horizontal stress on armor can significantly exceed the level of stress under the above described dynamic forces.

The influence of profile curvature on the level of occurring dynamic forces on armor is studied. The graphical diagram illustrating causal link between the level of strength capacity of conductors and executions, the level of wear, profile curvature of conductors and the contact forces is presented. It is recommended to reduce risks of operating emergency of armor by reducing the contact stresses in the working mode and the safety brake of the elevator installation.

Keywords: mining shaft, gunboat, cage, mining shaft armor, dynamics of mining lifting installations, system Vessel-Armor, safety pitch, box conductor.

Введение

Шахтные стволы являются непрерывно эволюционирующими системами, их техническое состояние (от исправного до аварийно-опасного) зависит от периода использования. С увеличением срока их эксплуатации скорость возможного локального перехода из исправного в аварийно-опасное состояние растет из-за параллельного накопления сопутствующих деградационных явлений во все большем числе элементов стволового оборудования. Это является главным источником аварий в шахтных стволах. Такие изменения могут происходить достаточно быстро, причем с ростом степени деградации ее скорость значительно увеличивается. Это приводит к созданию условий для непроектной активизации динамических процессов в ее отдельных звеньях.

Стволы во многих случаях стали «узким местом» в транспортной цепочке горнодобывающих предприятий. Сочетание необходимости повышения интенсивности эксплуатации с уже имеющимся в наличии уровнем деградации основного оборудования является основной причиной снижения устойчивости работы стволов и требует нового подхода к обеспечению безопасности путем управления техническим состоянием систем шахтного подъема в условиях непрерывной деградации.

Сложность решения проблемы обеспечения безопасности подъемов заключается в том, что в настоящее время отсутствует научно-методическая и нормативная база, которая бы учитывала реальные условия эксплуатации подъемов при существенной взаимосвязанности процессов, неоднородности распределения по глубине ствола физико-механических, геометрических, динамических, прочностных и деформационных параметров оборудования [1, 2].

Анализ взаимосвязанных процессов в звеньях шахтной подъемной установки (ШПУ), определяющих безопасность работы подъема

Свойство динамических звеньев подъемной установки как многосвязной системы заключается в том, что постоянно накапливающиеся диспропорции могут неожиданно сойтись в ее

неустойчивой точке и начать обрушивать всю конструкцию. Наиболее неустойчивым звеном ШПУ является система сосуд–армировка. На сосуд действуют факторы возмущений: от барабана подъемной машины (изменение вертикальной скорости и ускорения по глубине ствола, разбаланс натяжений канатов); от груза (смещение центра масс груза в сосуде вбок и в лоб); от армировки (искривления проводников по глубине, изменчивость опорной жесткости по глубине) и др.

В результате этого на сосуде суммируется действие всех факторов в каждой точке по глубине ствола. Малые изменения любого из внешних факторов в серии циклов вызывают непредсказуемо большие изменения мгновенных контактных нагрузок (от 0 до максимального значения) [3, 4].

Влияние канатоведущего шкива. Канатоведущий шкив (или барабан навивки) подъемной установки является ее главным движущим органом. Физический механизм его влияния имеет две составляющие:

- периодическое горизонтальное отклонение точки подвеса каната от общей вертикали с центром масс сосуда, имеющее частоту его угловых колебаний;

- статическое или квазистатическое смещение точки подвеса каната в одноканатной или «центра подвеса» в многоканатной установке от общей вертикали с центром масс сосуда.

Схемы взаимодействия показаны на рис. 1, на котором приняты следующие обозначения: $C_{рол}$ – жесткость роликовой направляющей; $F_{рол}$ – сила реакции роликовой направляющей; $C_б$ – опорная жесткость армировки в точке контакта с башмаком скольжения; $F_б$ – сила реакции армировки в точке контакта с башмаком скольжения; Q – сила веса сосуда; ψ – угол отклонения сосуда от вертикали; b – расстояние между точкой подвеса сосуда и его центром масс; W – вертикальное ускорение сосуда; g – ускорение свободного падения; Δ – смещение центра масс груза от оси каната.

В первом случае на сосуд действует периодический опрокидывающий момент M силы $P(\omega)$ натяжения каната относительно центра масс C , изменяющийся с частотой вертикальных колебаний сосуда ω . При кратных соотношениях частот вертикальных колебаний системы канат–сосуд и угловых колебаний сосуда

Рис. 1. Расчетные схемы влияния натяжения каната на угловые перемещения подъемного сосуда: а – влияние переменного опрокидывающего момента от каната; б – влияние смещения центра масс сосуда

наступает явление параметрического резонанса, которое в системе с жесткой армировкой вызывает ударно-циклические взаимодействия башмаков с проводниками.

Во втором случае угловое отклонение оси подъемного сосуда от вертикали приводит к непроектному снижению кинематических зазоров между рабочими поверхностями башмаков и пары пространственно искривленных проводников [5]. При вертикальном движении сосуда такой перекося под действием силы натяжения каната (даже постоянной) приводит к жесткому столкновению граней башмаков с набегающими навстречу движению сосуда гранями проводников и возбуждению в системе ударно-циклического режима взаимодействия.

Влияние параметров диаграммы скорости подъемной установки. Наиболее сильное влияние со стороны подъемной машины проявляется при вращении барабана с переменным ускорением в рабочем режиме и во время аварийного торможения.

Замеренные экспериментально осциллограммы линейной скорости и ускорения барабана приведены на рис. 2.

Из графиков на рис. 2 видно, что в данной подъемной установке максимальные окружные ускорения барабана достигают 1,2–1,3 м/с².

Эти рывки передаются на верхний конец головного каната установки и через него на подъемный сосуд. Чем более неравномерной будет диаграмма скорости вращения барабана подъемной машины, тем большими в этих местах ствола будут всплески горизонтальных нагрузок направляющих сосуда на проводники армировки.

Влияние разбаланса натяжений головных канатов. Причиной неблагоприятного воздействия разбаланса натяжений головных канатов на динамику системы сосуд–армировка, которое может привести к созданию аварийно-опасной ситуации, является то, что разбаланс натяжений создает опрокидывающий момент, действующий на верхний пояс сосуда, и вызывает его лобовой или боковой перекося в колее проводников и диагональное снижение кинематических зазоров на верхнем и нижнем поясах рамы.

Положения действующих нормативных документов допускают эксплуатацию многоканатных ШПУ с относительными перегрузками нескольких канатов, находящихся по одну сторону от вертикальной оси сосуда, незначительно меньше указанных предельных значений 15 и 25 % (например, на 1 %) и с такими же ослаблениями с противоположной [1].

Рис. 2. Диаграммы линейной скорости (а) и ускорения (б) барабана клетевой подъемной машины

На рис. 3 показано изменение остаточного кинематического зазора при подъеме сосуда в зависимости от жесткостей роликовых направляющих. Выбрав на кривой 1 точку, соответствующую фактической жесткости роликов на нижнем поясе сосуда и опустив от нее по вертикали перпендикуляр на ось абсцисс до кривой 2, мы получим значение остаточного зазора, с которым сосуд придет в разгрузочные устройства.

Отрицательные значения остаточного зазора на рис. 3 соответствуют подъему сосуда по стволу в режиме расклинивания с постоянным скольжением нижнего башмака по проводнику в ударно-циклическом режиме.

Рис. 3. Графики зависимости остаточного кинематического зазора в нижнем и верхнем положениях поднимающегося сосуда от жесткости нижних роликовых направляющих: 1 – остаточный зазор в нижнем положении сосуда в стволе при начальном зазоре 23 мм; 2 – остаточный зазор в верхнем положении сосуда в стволе при начальном зазоре 23 мм; 3 – остаточный зазор в нижнем положении сосуда в стволе при начальном зазоре 15 мм; 4 – остаточный зазор в верхнем положении сосуда в стволе при начальном зазоре 15 мм

Влияние нарушения цилиндричности шкива, динамики поднимающейся ветви канатов на опускающуюся и упругости привода подъемной машины. Негативное воздействие подъемной машины на динамику системы сосуд–армировка проявляется еще в нескольких случаях:

- при периодическом возбуждении верхних концов канатов барабаном, имеющим нарушение цилиндричности канатопроводящих канавок вследствие его эллиптичности или неравномерного износа футеровки по окружности;

- при передаче канатом набегающей ветви в сбегающую ветвь своих упругих деформаций, имеющих знакопеременную составляющую и сформировавшихся от вертикальных колебаний поднимающегося сосуда;

- упругости привода подъемной машины.

Графики изменения амплитудных коэффициентов вертикальных колебаний сосудов в процессе спуска/подъема приведены на рис. 4. На рис. 4, б: 1 – вертикальные колебания сосуда, 2 – угловые колебания сосуда. На рис. 4, в: 1 – опускающийся сосуд, 2 – поднимающийся.

Приведенные графики показывают, что в средней части ствола, где частоты вертикальных колебаний поднимающегося сосуда (рис. 4, б, в) становятся близкими частоте вертикальных колебаний пускающегося сосуда, происходит рост амплитуды вертикальных колебаний опускающегося сосуда.

В случае внешнего возбуждения в резонансной области ствола происходит рост амплитуд колебаний сосуда, независимо от

Рис. 4. Графики зависимости амплитудных коэффициентов вертикальных колебаний сосудов в случаях: а – нарушения цилиндричности шкива; б – возбуждения опускающейся ветви канатов установки со стороны поднимающейся; в – упругости привода

направления его движения. Эти изменения амплитуд вертикальных колебаний сосуда во всех случаях неизбежно вызывают горизонтальные возмущения его движения в армировке и удары по проводникам.

Влияние эксцентриситета расположения груза в сосудах. Горизонтальное смещение от вертикальной оси головного каната (или центра подвеса для многоканатных установок) создает момент пары сил «натяжение каната – сила веса груза», который наклоняет сосуд в вертикальной плоскости и уравнивается моментом сил реакции упругих направляющих (см. рис. 1, б).

В этих условиях любые изменения окружной скорости барабана неизбежно возбуждают гармонические вертикальные колебания сосуда на фоне его стационарного монотонного движения по стволу с вертикальным ускорением W . Результат исследования зависимости контактных нагрузок от величины смещения груза при подъеме по

одной и той же диаграмме скорости показан на рис. 5. Здесь приняты следующие обозначения кривых: 1 – направляющая 1; 2 – направляющая 2; 3 – направляющая 3; 4 – направляющая 4 [2].

Уровень максимальных нагрузок имеет явно выраженную тенденцию к росту с увеличением смещения груза в обе стороны, но после величины около 150 мм начинает снижаться. Это происходит тогда, когда скип под действием смещенного груза сдавливает пружины диагонально расположенных на скипе роликоопор, и взаимодействие происходит при доминирующем контакте скольжения. Динамические нагрузки при скольжении меньше, чем при чисто ударном взаимодействии с возможностью раскачки в пределах большого кинематического зазора. То есть в режиме ударного взаимодействия уровень максимальных нагрузок на конкретном башмаке сосуда изменяется в обратной зависимости от величины базового кинематического зазора между ним и проводником.

Влияние параметров армировки ствола.

Наибольшее возмущающее воздействие на подъемный сосуд в рабочих режимах движения оказывает профиль системы проводников отделения. На рис. 6 приведены графики лобовых профилей проводников отделения рудоподъемного ствола и контактных нагрузок на проводники со стороны скипа. Срок эксплуатации ствола – более 50 лет, ствол находится в области зоны сдвижения горных пород, глубина ствола – около 1000 м.

Видно, что абсолютные отклонения проводников от проектной вертикали достигают

Рис. 5. Зависимость максимальных контактных нагрузок на армировку при подъеме скипа от смещения центра масс груза

Рис. 6. Графики лобовых профилей проводников (а) и контактных нагрузок (б) при подъеме южного скипа в стволе

60–80 мм, причем в средней части ствола на протяжении 40 ярусов (около 120 м) имеется глобальное знакопеременное искривление профиля. На подавляющем числе коротких участков стволов длиной 5–10 ярусов (2–3 длины сосуда) имеются значительные знакопеременные отклонения профилей от их плавных осевых линий. Такие изломы профиля создают постоянные высокочастотные горизонтальные возмущения и инициируют повышенные ударные нагрузки сосудов на армировку (рис. 6, б). Амплитуды ударных нагрузок зависят от степени гладкости профилей проводников, кинематических зазоров и упругодиссипативных параметров амортизаторов роликовых направляющих [3]. Такие нарушения вертикальности при скорости подъема свыше 6–7 м/с могут вызывать аварийно опасные снижения запасов прочности армировки уже при 43–49 % износа проводников и расстрелов.

Обеспечение устойчивости работы систем сосуд–армировка в сложных горно-геологических и горно-технических условиях

Наиболее объективную картину динамического поведения системы сосуд–армировка по глубине ствола дают аппаратные испытания. Они проводятся на серии тестовых циклов спуска–подъема груза на рабочих режимах и в режиме срабатывания предохранительного тормоза в заданных точках ствола. Такие испытания проводятся по специальной схеме, включающей вариацию скоростей движения сосуда и его загрузки в сочетании с геометрическими измерениями параметров профилей проводников. Наибольшие динамические нагрузки испытывает армировка при срабатывании предохранительного тормоза подъемной машины на участке движения с максимальной скоростью [6–9].

Рис. 7. Диаграмма нагружения армировки бокового расстрела противовесного отделения ствола:

1 – фактические максимальные нагрузки за все циклы динамических испытаний; 2 – допустимые нагрузки при запасе прочности 2,15; 3 – допустимые нагрузки при запасе прочности 1,5; 4 – допустимые нагрузки при запасе прочности 1,0; 5 – допустимые нагрузки при запасе прочности 2,15 для неизношенного расстрела; 6 – допустимые нагрузки при запасе прочности 1,0 для неизношенного расстрела

Качественная характеристика взаимодействия сосуда с армировкой в процессе торможения состоит в определении закона изменений максимальных амплитуд динамических параметров горизонтальных колебаний сосуда во времени. При срабатывании предохранительного тормоза дополнительно определяется характер изменения этого параметра во времени колебательного процесса, т.е. определяют, является ли он убывающей, возрастающей, возрастающе-убывающей или постоянной во времени функцией и от каких параметров системы это зависит [10].

На рис. 7 показан пример итоговой диаграммы безопасности, которая строится для каждого элемента конструкции яруса армировки по результатам динамических испытаний и расчетов с учетом износа проводников и расстрелов. Она показывает поярусное соотношение между запасами прочности элементов, его остаточной прочности и уровнем фактического нагружения.

На рис. 7 провалы на кривых допустимых нагрузок соответствуют потере прочности вследствие износа, пики на кривых фактических нагрузок соответствуют повышенным динамическим нагрузкам из-за нарушений вертикальности или других геометрических параметров системы проводников данного сосуда. Из графиков видно, с каким фактическим запасом прочности эксплуатируется конкретный

Рис. 8. Максимальные контактные нагрузки в зависимости от коэффициента сглаживания профиля проводников

элемент армировки при данном режиме работы подъема.

Параметр «остаточный запас прочности» элементов металлоконструкции армировки под действием фактических эксплуатационных нагрузок является основным параметром безопасности, определяющим степень аварийной опасности работы ствола.

Самым распространенным способом повышения запаса прочности является снижение скорости подъема на фиксированном участке ствола для уменьшения динамических нагрузок до безопасного уровня при неизменном профиле проводников и остаточной несущей способности армировки. Для тех подъемных установок, где присутствуют компьютерные системы управления, эффективным способом снижения нагрузок является реализация сглаженных, минимизированных по рывку диаграмм скорости вращения барабана. Применение сглаженной диаграммы скорости позволяет почти на 40–50 % снизить контактные нагрузки на армировку за счет уменьшения вертикальных рывков верхних концов каната [3, 11].

Более трудоемким является проведение местной профилировки и спрямление проводников на участках с наиболее сильными нарушениями вертикальности путем специальной нелинейной коррекции. Улучшению динамической ситуации также способствует применение роликовых направляющих с повышенными диссипативными свойствами амортизаторов [12].

На рис. 8 приведены графики зависимости максимальных контактных нагрузок от величины коэффициента сглаживания профиля при различных значениях коэффициента же-

сткости амортизаторов роликовых направляющих. Видно, что комплексное применение этих мероприятий позволяет существенно снизить ударные нагрузки на армировку и тем самым без проведения замены металлоконструкций на новые вывести систему сосуд–армировка из аварийно опасного технического состояния [13, 14]. В этих случаях благодаря переходу систем сосуд–армировка на более высокий уровень эксплуатационной безопасности на рабочих режимах с определенным запасом становится возможным повышение максимальной рабочей скорости и производительности подъема.

Заключение

1. При работе подъемных установок возникают эффекты динамического взаимовлияния упругих звеньев системы, которые приводят к интенсификации горизонтальных колебаний подъемных сосудов в проводниках жесткой армировки ударно-циклического типа.

2. Основными источниками возникновения ударного взаимодействия сосудов с армировкой являются: параметры диаграммы скорости работы подъемной установки, горизонтальное смещение центра масс груза в подъемном сосуде от вертикальной оси каната, знакопеременные искривления профилей проводников на коротких участках, разбаланс натяжений головных канатов многоканатных установок, несоответствие параметров жесткости и диссипации направляющих устройств сосудов уровню и параметрам возмущающих воздействий со стороны канатов, груза и армировки.

3. Сбалансированное применение комплекса мероприятий при систематическом аппаратурном контроле плавности движения сосудов позволяет удерживать фактические запасы прочности металлоконструкций на уровне, обеспечивающем отсутствие спонтанного возникновения разрушений и аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»: Приказ Ростехнадзора от 11.12.2013 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499066482> (дата обращения: 14.08.2015).
2. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах»: Приказ Ростехнадзора от 19.11.2013 № 550 [Электронный ресурс]. – URL: http://noteh-prk.ru/docs/pravo/pb_um.pdf (дата обращения: 14.08.2015).
3. Ильин С.Р., Ильина С.С., Самуся В.И. Механика шахтного подъема [Электронный ресурс]. – Днепропетровск: Издательство Национального горного университета, 2014. – 247 с. – URL: http://gm.nmu.org.ua/ru/Naukovi%20publikazii/naukovi_publicazii.php (дата обращения: 14.08.2015).
4. Динамика канатных и гидротранспортных подъемных комплексов горных предприятий [Электронный ресурс] / В.И. Самуся, С.Р. Ильин, В.Е. Кириченко, И.С. Ильина. – Днепропетровск: Издательство Национального горного университета, 2015. – 302 с. – URL: <http://www.twirpx.com/file/1732639/> (дата обращения: 14.08.2015).
5. Прокопов А.Ю., Басакевич С.В. Влияние интенсивности подъема на формирование дополнительной лобовой нагрузки на проводники, имеющие отклонение от вертикали [Электронный ресурс] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2006. – Прил. № 9. Перспективы развития Восточного Донбасса. – С. 101–105. – URL: <http://siurgtu.ru/actionsferas/science/sbornik/3/6.php> (дата обращения: 14.08.2015).
6. Адресный контроль армировки глубоких шахтных стволов / А.Е. Гавруцкий, Н.И. Дядечкин, В.С. Рубан, А.Д. Кусковский // Горный журнал. – 2003. – № 3. – С. 21–23.
7. Смычкин А.Д., Сорокин В.А. Совершенствование армировки вертикальных шахтных стволов для новых калийных рудников // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Рудник будущего». – Пермь, 2009. – Вып. 5. – С. 64–69.
8. Плахно М. Новые методы проектирования жесткой армировки стволов // Горнодобывающие науки 50. – 2005. – Вып. 4 – С. 465–496.
9. Хансэл Дж., Кавка Г., Плахно М. Диагностика шахтных проводников // Механика. – Краков: AGN, 1985. – Т. 4, ч. 2. – С. 115–128.
10. Самуся В.И., Ильина И.С. Методика и проведение экспериментальных исследований взаимодействия шахтных подъемных сосудов в режиме торможения с проводниками жесткой армировки вертикальных стволов в промышленных условиях // Вестник НТУ «КПИ»: Горное дело. – 2004. – Вып. 11. – С. 57–64.
11. Ильин С.Р., Трифанов Г.Д., Воробель С.В. Комплексные экспериментальные исследования динамики скипов рудоподъемного ствола // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – Вып. 5. – С. 30–35.
12. Ильина С.С. Исследование влияния параметров профилей проводников на динамику скипов в стволах с нарушенной геометрией // Динамика и прочность машин: сб. науч. трудов. – Харьков: ХПИ, 2011. – Вып. 52. – С. 85–93.
13. Ильина С.С. Разработка и обоснование методов и средств снижения динамических нагрузок в системах «сосуд – армировка» вертикальных стволов с нарушенной геометрией: автореф. дис. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – 16 с.
14. Ильин С.Р., Трифанов Г.Д. Динамическая диагностика состояния систем «скип – армировка» рудоподъемного ствола // Проблемы рационального природопользования: материалы международной научно-технической конференции. – Пермь, 2008. – С. 107–124.
15. 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. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.8.

References

1. Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti pri vedenii gornykh работ i pererabotke tverdykh poleznykh isko-paemykh». Prikaz Rostekhnadzora ot 11.12.2013 g. [On approval of Federal regulations in the field of industrial safety «Safety at mining and processing of solid minerals»: RTN Order dated 11.12.2013], available at: <http://docs.cntd.ru/document/499066482>.
2. Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoy bezopasnosti «Pravila bezopasnosti v ugo'nykh shakhtakh». Prikaz Rostekhnadzora ot 19.11.2013 № 550 [On approval of Federal regulations in the field of industrial safety «Safety in Coal Mines»: RTN Order dated 19.11.2013 № 550], available at: http://noteh-prk.ru/docs/pravo/pb_um.pdf.

3. Il'in S.R., Il'ina S.S., Samusia V.I. Mekhanika shakhtnogo pod"ema [Mechanics of shaft lifting]. Dnepropetrovsk: Izdatel'stvo Natsional'nogo gornogo universiteta, 2014. 247 p. available at: [http://gm.nmu.org.ua/ru/Naukovi % 20publikazii/naukovi_publicazii.php](http://gm.nmu.org.ua/ru/Naukovi%20publikazii/naukovi_publicazii.php).
4. Samusia V.I., Il'in S.R., Kirichenko V.E., Il'ina I.S. Dinamika kanatnykh i gidrotransportnykh pod"emnykh kompleksov gornykh predpriatii [The dynamics of the cable and hydro lifting systems of mining enterprises]. Dnepropetrovsk: Izdatel'stvo Natsional'nogo gornogo universiteta, 2015. 302 p., available at: <http://www.twirpx.com/file/1732639/>.
5. Prokopov A.Iu., Basakevich S.V. Vliianie intensivnosti pod"ema na formirovanie do-polnitel'noi lobovoi nagruzki na provodniki, imeiushchie otklonenie ot vertikal' [Influence of lifting intensity to the formation of additional front forces on conductors that have vertical deviation]. *Izvestiia vuzov. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki*, 2006, prilozhenie no. 9. Perspektivy razvitiia Vostochnogo Donbassa, pp. 101-105, available at: <http://siurgtu.ru/actionsferas/science/sbornik/3/6.php>.
6. Gavrutskii A.E., Diadechkin N.I., Ruban V.S., Kuskovskii A.D. Adresnyi kontrol' armirovki glubokikh shakhtnykh stvolov [Targeted control of armor of deep mine shafts]. *Gornyi zhurnal*, 2003, no. 3, pp. 21-23.
7. Smychkin A.D., Sorokin V.A. Sovershenstvovanie armirovki vertikal'nykh shakhtnykh stvolov dlia novykh kaliinykh rudnikov [Improving the armor of vertical mine shaft for new potash mines]. *Sbornik trudov mezhdunarodnoi nauch-no-prakticheskoi konferentsii «Rudnik budushchego»*. Perm', 2009, vol. 5, pp. 64-69.
8. Plakhno M. Novye metody proektirovaniia zhestkoi armirovki stvolov [New methods of designing rigid armor for shafts]. *Gornodobyvaushchie nauki* 50, 2005, vol. 4, pp. 465-496.
9. Khansel Dzh., Kavka G., Plakhno M. Diagnostika shakhtnykh provodnikov [Diagnosis of mine conductors]. In: *Mekhanika*. Krakov: AGN, 1985, vol. 4, part 2, pp. 115-128.
10. Samusia V.I., Il'ina I.S. Metodika i provedenie eksperimental'nykh issledovaniy vzaimodeistviia shakhtnykh pod"emnykh sosudov v rezhime tormozheniia s provodnikami zhestkoi armirovki vertikal'nykh stvolov v promyshlennykh usloviakh [The methodology and experimental studies of the interaction of mine hoisting vessels in the braking mode with conductors of rigid armor of vertical shafts under field conditions]. *Vestnik NTU «KPI»: Gornoe delo*, 2004, vol. 11, pp. 57-64.
11. Il'in S.R., Trifanov G.D., Vorobel' S.V. Kompleksnye eksperimental'nye is-sledovaniia dinamiki skipov rudopod"emnogo stvola [Complex experimental studies of the dynamics of skips of ore shafts]. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*, 2011, vol. 5, pp. 30-35.
12. Il'ina S.S. Issledovanie vliianiia parametrov profilie provodnikov na dinamiku skipov v stvolakh s narushennoi geometriie [Study of conductor profile parameters influence on gunboat dynamics in the shafts with disturbed geometry]. *Dinamika i prochnost' mashin: sb. nauch. trudov*. Khar'kov: KhPI, 2011, vol. 52, pp. 85-93.
13. Il'ina S.S. Razrabotka i obosnovanie metodov i sredstv snizheniia dinamicheskikh nagruzok v sistemakh «sosud – armirovka» vertikal'nykh stvolov s narushennoi geometriie [Development and substantiation of methods and means of reduction the dynamic forces in the Vessel-Armor vertical shafts with broken geometry]. Abstract of PhD thesis. Dnepropetrovsk: NGU, 2011. 16 p.
14. Il'in S.R., Trifanov G.D. Dinamicheskaia diagnostika sostoianiia sistem «skip – armirovka» rudopod"emnogo stvola [Dynamic diagnosis of the state of «gunboat – armour» system of rock shaft]. *Problemy ratsional'nogo prirodo-pol'zovaniia: materialy mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii*. Perm', 2008, pp. 107-124.
15. Il'in S.R., Il'ina S.S. Vliianie parametrov iznosa zhestkoi armirovki shakhtnykh stvolov na ee ostatochnuiu prochnost' [Influence of parameters of wear by rigid of armor shafts on its residual strength]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledova-tel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo*, 2014, no. 11, pp. 77-87. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.11.8.

Об авторах

Самуся Владимир Ильич (Днепропетровск, Украина) – доктор технических наук, профессор кафедры горной механики Национального горного университета (49005, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19; vsamusia@gmail.com).

Ильин Сергей Ростиславович (Днепропетровск, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики Национального горного университета (49005, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19; e-mail: iljin_sr@mail.ru).

Ильина Инна Сергеевна (Днепропетровск, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики Национального горного университета (49005, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19; e-mail: iljin_sr@mail.ru).

Ильина Светлана Сергеевна (Днепропетровск, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры горной механики Национального горного университета (49005, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 19; e-mail: iljin_sr@mail.ru).

About the authors

Vladimir I. Samusia (Dnepropetrovsk, Ukraine) – Doctor of Engineering, Professor at the Department of Mining Mechanics of National Mining University of Ukraine (49005, Dnepropetrovsk, 19 K. Marks av.; e-mail: vsamusia@gmail.com).

Sergei R. Iljin (Dnepropetrovsk, Ukraine) – PhD in Engineering, assistant Professor at the Department of Mining Mechanics of National Mining University of Ukraine (49005, Dnepropetrovsk, 19 K. Marks av.; e-mail: iljin_sr@mail.ru).

Inna S. Iliina (Dnepropetrovsk, Ukraine) – PhD in Engineering, assistant Professor at the Department of Mining Mechanics of National Mining University of Ukraine (49005, Dnepropetrovsk, 19 K. Marks av.; e-mail: iljin_sr@mail.ru).

Svetlana S. Iliina (Dnepropetrovsk, Ukraine) – PhD in Engineering, assistant Professor at the Department of Mining Mechanics of National Mining University of Ukraine (49005, Dnepropetrovsk, 19 K. Marks av.; e-mail: iljin_sr@mail.ru).

Получено 25.09.2015

Пробьса ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Самуся В.И., Ильин С.Р., Ильина И.С., Ильина С.С. Факторы нарушения устойчивой работы систем сосудов–армировка в сложных горно-геологических условиях вертикальных стволлов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2015. – № 17. – С. 72–80. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.8

Please cite this article in English as:

Samusia V.I., Iljin S.R., Iliina I.S., Iliina S.S. Failure factors of the vessel-armor systems in complex geological conditions of vertical shafts. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2015, no. 17, pp. 72-80. DOI: 10.15593/2224-9923/2015.17.8