

УДК 622.673:621.863:622.8

Ильин С.Р., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

Радченко В.К., магистр
(ООО «АГАТ»);

Адорская Л.Г., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

РИСКООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ РАБОТЕ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Ільїн С.Р., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України);

Радченко В.К., магістр
(ТОВ «АГАТ»)

Адорська Л.Г., канд. техн. наук, ст. науч. співр.
(ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України)

РИЗИКОУТВОРЮЮЧІ ПРОЦЕСИ ПРИ РОБОТІ ШАХТНИХ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК

Ilyin S.R., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(N.S. Polyakov IGTM NAS of Ukraine)

Radchenko V.K., M.S (Tech.)
(LLC “AGAT”)

Adorskaya L.G., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(N.S. Polyakov IGTM NAS of Ukraine)

RISK-FORMING PROCESSES IN THE WORK OF MINE LIFTING UNITS

Аннотация. В статье рассмотрены основные процессы, приводящие к возникновению сбоев в механическом оборудовании шахтных подъемных установок, которые могут привести к аварийно опасным ситуациям с тяжелыми материально-техническими последствиями и человеческими жертвами. Показано, что состояние эксплуатационной безопасности оборудования шахтных стволов зависит от совокупности четырех разнородных по своей природе факторов: искривления проводников вследствие горно-геологических и горнотехнических причин, водоприток в стволе, коррозионного и механического износов металлоконструкций и запасов динамической прочности металлоконструкций под действием эксплуатационных нагрузок. Рассмотрены аварийно-опасные режимы при работе шахтных подъемных установок. Показано, что по критерию времени развития ситуации их можно разделить на два типа: аварийные режимы, которые отслеживаются автоматикой установок в режиме реального времени, и скрытые режимы, связанные с постепенным развитием микронарушений (микроразрушений, микроизноса, микрорасстройки), накапливающихся в узлах оборудования. Проведена классификация рискообразующих режимов по критерию управляемости и степени тяжести последствий. Разработаны соответствующие схемы классификации.

Определены параметры, контроль которых обеспечивает полноту и достоверность информации о текущем состоянии звеньев подъемных установок, в наибольшей степени влияющих на безопасность работы подъемного комплекса.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, армировка шахтного ствола, сосуд-армировка, аварийные ситуации на шахтном подъеме, рискообразующие факторы шахтного подъема.

Общие положения. Состояние эксплуатационной безопасности оборудования шахтных стволов зависит от совокупности множества разнородных по своей природе факторов. Их можно условно разделить на несколько групп. *К первой группе* следует отнести внешние по отношению к стволу и его оборудованию горно-геологические факторы. Они определяют устойчивость во времени при длительной эксплуатации состояния околоствольного массива. Поскольку стволы проектируются и строятся на весь срок существования шахты, а к их прямолинейности (вертикальности) предъявляются очень высокие технические требования, то даже относительно малые по сравнению с их глубиной, локальные искривления их стенок, действуя на расстрелы и проводники жесткой армировки создают аварийно-опасные для движения подъемных сосудов искривления проводников; опасные для прочности армировки пространственные искривления расстрелов; опасные расслабления заделки расстрелов в крепи ствола.

Для стволов, эксплуатирующихся с канатными проводниками такие искривления приводят, порой, к невозможности дальнейшей эксплуатации из-за того, что всегда вертикально висящие проводники не могут удерживать дальше движущийся подъемный сосудов пределах безопасных зазоров от стенок искривленного ствола.

Управление этими факторами в процессе эксплуатации стволов осуществляется только путем очень дорогостоящих и сложных мероприятий по укреплению околоствольного пространства в мульде сдвижения, перearмирования и перекрепления участка ствола если такое вообще представляется технически возможным и целесообразным.

Диапазон управляемости таких факторов зависит от пространственных размеров зоны сдвижения, скорости сдвижения и крепости горных пород околоствольного массива.

Вторым фактором, который также относится к числу внешних, следует считать наличие водопритока в стволе. Он характеризуется своим химическим составом и удельными объемами. Взаимодействуя с атмосферой ствола, он образует сильно агрессивную коррозионную среду, разъедающую металлоконструкции армировки и существенно снижающую ее прочность за время длительной эксплуатации.

Управление негативными проявлениями этого фактора возможно за счет специальных мероприятий по водоотводу, заделке трещин в креплении ствола.

Третьим фактором, который является определяющим для эксплуатационной безопасности ствола, является фактор снижения величины остаточной толщины металла конструкций оборудования ствола (армировки,

трубопроводов, лестничных ходов, отшивки отделений и др.). Этот фактор следует отнести к разряду внутренних для ствола, хотя его проявление связано с действием второго фактора – водопритока, но так же, и в основном, зависит от характера текущего обслуживания и ремонта, а для проводников еще и технологических параметров работы подъемных сосудов. Управление этим фактором возможно только за счет усиления конструкций, наращивания толщины путем сварки или замены участков конструкций.

Четвертым фактором, также внутренним, является остаточный запас прочности всех элементов оборудования стволов, главным образом проводников, расстрелов, самих подъемных сосудов и их канатов (головных и уравнивающих).

Он определяется главным образом третьим фактором и технологическими параметрами эксплуатации подъема, уровнем действующих на каждый узел системы эксплуатационных нагрузок, которые, в свою очередь, носят сложный – статический и динамический характер.

Управление негативными свойствами этого фактора (его скоростью и абсолютной величиной) возможно за счет снижения различными путями эксплуатационных нагрузок на потенциально-опасных участках и узлах оборудования. Оно достигается либо путем снижения интенсивности работы подъема (снижения скорости движения либо массы сосудов, либо все одновременно), либо путем изменения параметров армировки, создающих повышенный уровень динамических нагрузок (выпрямление проводников для снижения уровня ударно-циклических нагрузок, изменение шага расстрелов, жесткости и диссипации амортизаторов для увода системы из режима параметрической неустойчивости и т.п.)

Анализ механических процессов, происходящих при работе в звеньях шахтных подъемных установок, показывает, что практически все их основные узлы и механизмы могут при определенных обстоятельствах стать первоисточниками аварии с достаточно тяжелыми последствиями. Однако зона, в которой локализуются наибольшие разрушения, вполне ограничена пространством шахтного ствола, в котором находятся движущиеся с большой скоростью массивные подъемные сосуды. При этом, для некоторых узлов оборудования является характерным тот факт, что некоторые их детали могут находиться достаточно длительное время в дефектном состоянии, которое постепенно переходит в состояние отказа, приводящего к возникновению тех или иных аварийных режимов работы установок.

Предупреждению аварий призваны служить работы по техническому обслуживанию и ремонту (ТОР) оборудования, однако, в настоящее время они обладают достаточно низкой эффективностью из-за отсутствия специализированных систем диагностирования, которые, представляют собой совокупность объекта, средств технического диагностирования (СТД) и исполнителей, необходимых для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным в технической документации. Следует отметить, что в настоящее время в нормативной и эксплуатационной документации прошлых

лет не установлен необходимый и достаточный перечень средств и методик технического диагностирования, охватывающий все основные рискообразующие процессы при работе шахтных подъемных установок (ШПУ).

К типу дефектов, наносящих наибольшие технико-экономические последствия при работе ШПУ, относятся дефекты подземного стволового оборудования. При этом следует отметить, что существует определенная взаимозависимость в появлении и развитии дефектов в различных узлах подъемных установок, обусловленная разветвленностью системы, энергетическим и кинематическим взаимовлиянием динамических процессов в ее различных звеньях, связанных в единую силовую цепочку. Наиболее часто встречаются следующие ситуации при техническом обслуживании и ремонте узлов подъемных установок:

-отказ узла, работоспособность которого восстанавливается путем ремонта или замены отдельных функционально-конструктивных элементов (в этом случае основная задача ТОР заключается в определении места и причины отказа),

-отказ узла, работоспособность которого восстанавливается путем замены самого узла (задача ТОР заключается в предотвращении развития первичного дефекта в отказ объекта и его остановку во время рабочей смены),

- работы, предусмотренные системой планово-предупредительных ремонтов (ППР) (задача ТОР с помощью соответствующих СТД построить максимально достоверный прогноз состояния объекта, чтобы не выдавать в ремонт еще работоспособный узел, но и не допустить отказа узла во время рабочей смены).

В связи с этим следует рассмотреть более конкретно рискообразующие ситуации при работе шахтных подъемных установок по степени тяжести их последствий.

Принято величину риска при наступлении некоторой рискообразующей ситуации определять по формуле

$$R = P(x) \cdot D(x),$$

где x – нежелательное рискообразующее событие, $P(x)$ – вероятность реализации этого события при работе ШПУ, $D(x)$ – материальный ущерб от этого события [1].

То есть риск является двумерной характеристикой события. Следовательно, для получения его адекватной оценки на шахтном подъеме необходимо решить две группы задач: 1- определение вероятности наступления конкретной рискообразующей ситуации как технического события при работе ШПУ(назовем это аварийно-опасным режимом); 2- оценка материального ущерба от ее наступления. Поскольку шахтная подъемная установка является сложной, многозвенной электромеханической системой, в которой одновременной происходит несколько энергомеханических процессов, слабо связанных между собой по источникам возникновения, но сильно завязанных на безопасности работы конечного объекта: системе «подъемный сосуд-армировка» [2], то среди главных проблем, требующих разрешения при

построения модели комплексного риск-анализа, можно выделить проблему идентификации, сравнения и интегрирования факторов риска для ШПУ в целом. В настоящее время методы количественной оценки риска не охватывают весь спектр факторов опасности при длительной эксплуатации шахтных подъемов в сложных современных горнотехнических и горно-геологических условиях.

1. Аварийно-опасные режимы при работе ШПУ и их последствия

Каждая подъемная установка содержит более 30 цепей автоматической защиты от аварийных ситуаций [3]. Перечень защит говорит о большом числе аварийно-опасных режимов и ситуаций, которые могут реализоваться во время работы любой подъемной установки.

Однако не все указанные аварийные режимы работы в случае реализации приводят к механическому разрушению оборудования подъема. Аварийные режимы, при которых разрешается завершение цикла подъема, но запрещается начало следующего, не приводят к каким-либо разрушениям в системе. Остальные аварийные режимы, наличие которых идентифицируется системой защиты по выходу сигнала соответствующего датчика за допустимые пределы, приводят к включению аварийного тормоза. Неисправность или погрешность распознавания в измерительном узле, как правило, приводят к определенным разрушениям, как минимум эти разрушения касаются вспомогательных предохранительных элементов (например - ловителей клетки или разгрузочных кривых скипа при переподъеме с повышенной скоростью).

Кроме указанных аварийных режимов, появление которых контролируется автоматикой в режиме реального времени, существует ряд других, которые проявляются постепенно и идентифицируются экспертным способом обслуживающим персоналом по данным периодических измерений их параметров или визуальных осмотров (например - износ канатов, искривление проводников, неравномерность распределения нагрузок между канатами, повышенная вибрация подшипников основных и вспомогательных двигателей и др.). Ошибки при их идентификации приводят к спонтанным разрушениям оборудования с тяжелыми последствиями.

Косвенным путем автоматика системы защиты в некоторых случаях определяет наличие в работе подъема аварийного режима и включает аварийный тормоз, но делает это только тогда, когда разрушение определенного узла уже произошло и торможение может лишь свести к минимуму дальнейшие разрушения (например, токовая защита остановит привод по критерию перегрузки и включит тормоз если произошло заклинивание поднимающегося сосуда в стволе, но это значит, что первичные разрушения армировки уже начались).

Так же существует ряд аварийных ситуаций, которые даже современная автоматика "не замечает" при работе установки, а разрушения продолжают нарастающим итогом (например, при застревании в проводниках опускающегося сосуда в нижней части ствола датчик провисания струны каната, реагирующий на сверхдопустимое ослабление ее натяжения не дает

аварийного сигнала, так как большая масса опустившегося в ствол каната создает достаточное натяжение струны, не выходящее за допустимые информационные пределы, при этом разрушения армировки сосуда и каната продолжают развиваться. В этих аварийных ситуациях в течение времени их развития все же остается шанс на то, что какой-нибудь косвенный диагностический параметр выйдет за допустимые пределы и защита включит аварийный тормоз, который сможет предотвратить дальнейшее развитие разрушений.

Однако, существует предельная стадия развития аварийной ситуации, когда она становится неуправляемой и включение тормоза уже не может остановить развитие разрушений (после обрыва каната даже срабатывание тормоза не останавливает падения сосуда в ствол и продолжающихся разрушений его оборудования, расплавление материала некоторых типов футеровки ведущего шкива и потеря сцепления с канатами приводит к неуправляемому скольжению грузовой ветви вплоть до падения в зумпф, при котором включение тормоза может только усилить скольжение, а сопутствующий этому переподъем порожнего сосуда вызовет разрушение ограничивающих балок копра и обрыв канатов, из-за которого порожний сосуд начнет неуправляемое падение вдоль ствола с разрушениями).

Таким образом, можно провести классификацию аварийных ситуаций (режимов) на подъеме условно выделив в них два основных типа по критерию времени развития ситуации:

- первый, к нему относятся все аварийные режимы, которые отслеживаются автоматикой установок в режиме реального времени, подавая команду на аварийное торможение, и те, которые в силу несовершенства технических и логических средств автоматики ШПУ не идентифицируются аппаратурой защиты как такие, при которых необходимо включение аварийного тормоза (их наличие теоретически вероятно), но которые вызывают спонтанное, происходящее за доли секунд, развитие разрушений механического оборудования (назовем их **экстремальные аварийные режимы**);

- второй, к нему относятся все режимы, связанные постепенным развитием микронарушений (микроразрушений, микроизноса, микрорасстройки), накапливающихся в узлах оборудования, а при подходе накопления нарушений к некоторой критической величине, вызывающие спонтанное разрушение узла, и переводящие ситуацию в первый тип режимов, если разрушение узла вызовет выход какого-либо из контролируемых параметров за допустимые пределы, а набор технических и логических средств автоматики будет способен выделить и идентифицировать данный тип разрушений как аварийный (назовем их – **скрытые аварийные режимы**).

Эти режимы и степень их приближения к критическому уровню контролируются только путем периодических осмотров оборудования. Такое положение приводит к тому, что если время между двумя последовательными осмотрами является большим, чем время, за которое фактическая комбинация параметров процесса перейдет через критический уровень, то в системе

произойдет неожиданное для обслуживающего персонала, неспрогнозированное им аварийное разрушение системы.

Это говорит об актуальности создания и использования прогнозных моделей развития нарушений для определения максимально достаточного периода осмотров каждого из типов оборудования с учетом возможностей технических средств контроля обеспечивающих как можно более раннее прогнозирование момента перехода технической ситуации в разряд *экстремальных*.

По степени тяжести последствий и длительности времени их устранения "экстремальные" режимы стоят на первом месте по сравнению со "скрытыми", но технические первопричины аварий находятся в числе тех, которые относятся к "скрытым". Переход оборудования из работы в "скрытом" режиме в "экстремальный" соответствует появлению предотказного состояния и затем появлению отказа в системе. Исходя из этого, можно провести классификацию "экстремальных" режимов по степени тяжести разрушений оборудования.

Так же можно ввести классификацию рискообразующих аварийных режимов по критерию возможности прекращения нарастания разрушений после их начала, то есть по критерию "управляемости", возможности вмешаться в ход процесса на его ранней стадии развития. В этом случае все "*скрытые режимы*" относятся к числу "управляемых", а "*экстремальные*" делятся на два типа - "*управляемые*" и "*неуправляемые аварийные режимы*".

По способу управления "*управляемые*" режимы делятся на "*управляемые автоматикой путем остановки машины*" и "*управляемые путем периодического контроля и предупредительного ремонта*".

При такой классификации видно, что наиболее тяжелые разрушения вызывают "*экстремальные неуправляемые*" аварийные режимы, менее тяжелые "*экстремальные управляемые*", а "*скрытые управляемые аварийные режимы*", выявленные упреждающе на стадии эксплуатации, приводят только к незначительным разрушениям деталей оборудования.

Эта классификация может быть представлена схемой, изображенной на рис. 1.

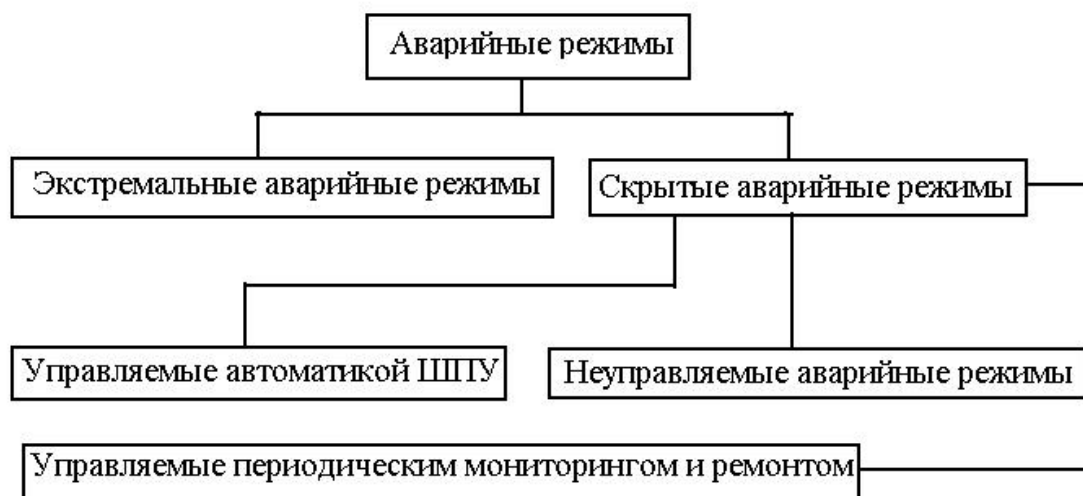


Рисунок 1 - Схема классификации рискообразующих режимов при работе ШПУ

По степени тяжести последствий типы аварийных режимов представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Последствия аварийных режимов

Тип аварийного режима	Степень тяжести последствий
1. Экстремальный, неуправляемый	Тяжелые, максимальные
2. Экстремальный, управляемый автоматикой	Средней тяжести
3. Скрытый, управляемый периодическим контролем переносными СТД и ремонтом	Мелкий восстановительный или предупредительный ремонт

Рассмотрим следующие дефекты в работе подъема и их технические аварийные последствия:

- переподъем сосудов приводит к удару сосуда по ловителям и элементам конструкции копра и может привести к разрушению сосуда и препятствия, (разрушения средней тяжести);

- превышение нормальной скорости на 15% (защитная тахограмма) в конечном итоге при отказе системы защиты приведет к повышенной скорости подхода сосуда к крайнему положению (в копре или зумпфе) и разрушению их конструкций и сосуда, (разрушения средней тяжести);

- подход скипа к нормальному верхнему положению со скоростью выше 1,5 м/с вызывает повышенные динамические нагрузки на металлоконструкции копра и сосуда при их соударении и их разрушение, (разрушения средней тяжести);

- провисание струны и напуск каната при зависании сосуда приводят к разрушению проводников и армировки ствола, (тяжелые разрушения);

- проскальзывание каната по шкиву трения - при застревании сосуда в проводниках вызывает разрушение проводников и сосуда, (тяжелые разрушения);

- сбой в системе электропривода, вызывая остановку привода к разрушениям механического оборудования не приводят, но вызывают необходимость ремонтных работ в электрической системе, (мелкий ремонт);

- снижение давления в цилиндрах предохранительного тормоза и в сети воздухопровода в случае отказа системы защиты, приведет к самопроизвольному торможению машины, (мелкий ремонт);

- при обратном ходе подъемных сосудов (наложение тормоза происходит при скорости обратного хода, не превышающей 0,5 м/с), происходит соударение сосуда с амортизаторами и их локальное разрушение, (разрушение средней тяжести);

- при нарушении исправности передачи между валом подъемной машины и импульсными датчиками измерения пути и скорости произойдет неправильная идентификация положения сосуда в стволе и заданной скорости привода, ведущая к превышению допустимой скорости подхода сосуда к одному из

конечных положений и соударению с разрушением предохранительных устройств (разрушения средней тяжести);

- при затягивании поднимающимся сосудом петли уравновешивающего каната из-за заклинивания вертлюга и перехлестывания ветвей, (разрушения средней тяжести);

Эти дефекты оборудования подъема вызывают срабатывание аппаратуры защиты и включение аварийного тормоза, но кроме них возможны также:

- внезапное разрушение армировки и проводников из-за:

1) постоянного соударения сосуда по одному и тому же месту проводника, (тяжелые разрушения);

2) постоянного возникновения интенсивного виброударного режима соударения сосуда с проводниками на одном и том же отрезке ствола, с регулярными знакопеременными динамическими нагрузками, (максимально тяжелые разрушения);

3) ослабления сечения проводника вследствие коррозии и механического износа, (максимально тяжелые разрушения),

4) ослабления сечения расстрела вследствие коррозии (максимально тяжелые разрушения);

- внезапное разрушение головного каната из-за износа (тяжелые разрушения);

- внезапное разрушение уравновешивающего каната из-за износа (тяжелые разрушения);

- превышение допустимого времени холостого хода аварийного тормоза вызывает разрушение ловителей в концах подъема (разрушение средней тяжести);

- превышение допустимого времени срабатывания аварийного тормоза вызывает разрушение ловителей в конечных точках подъема (разрушение средней тяжести).

Описанные явления можно систематизировать в виде таблицы 2.

Таким образом, приведенные выше результаты позволяют классифицировать все основные аварийные процессы на шахтном подъеме по степени их управляемости и тяжести последствий.

2. Физические параметры, контроль которых обеспечивает полноту и достоверность информации о текущем состоянии звеньев подъемных установок, в наибольшей степени влияющих на безопасность работы подъемного комплекса

Как показано выше, наиболее тяжелые последствия вызывают разрушения, наступившие в результате развития экстремальных неуправляемых аварийных режимов, которые реализуются вследствие дефектов аварийного тормоза (снижение быстродействия и параметров нарастания тормозного момента), стволового оборудования - армировки (расстрелов, проводников, узлов их соединения), головных и уравновешивающих канатов. Выбор и обоснование параметров, контроль которых обеспечивает наиболее полную и достоверную

информацию о состоянии того или иного узла, критериев их оценки опирается на положения, вытекающие из используемой диагностической модели, которая, согласно ГОСТ 20911-89, представляет собой формализованное описание объекта, необходимое для решения задач диагностирования.

Таблица 2 - Аварийные режимы ШПУ и их последствия

Аварийный режим	Степень тяжести последствий
1. Переподъем сосудов	разрушения средней тяжести
2. Превышение нормальной скорости на 15%	то же
3. Подход скипа к нормальному верхнему положению со скоростью выше 1,5 м/с	"
4. Провисание струны и напуск каната при зависании сосуда	тяжелые разрушения
5. Проскальзывание каната по шкиву трения	то же
6. Сбои в системе электропривода	мелкий ремонт
7. Снижение давления в цилиндрах предохранительного тормоза и воздухопровода	то же
8. Обратный ход сосудов	разрушение средней тяжести
9. Нарушение исправности передачи между валом подъемной машины и импульсными датчиками измерения пути и скорости	разрушение средней тяжести
10. Внезапное разрушение армировки и проводников	тяжелые разрушения
11. Внезапное разрушение головного каната	то же
12. Внезапное разрушение уравнивающего каната	"
13. Затягивание поднимающимся сосудом петли уравнивающего каната	разрушение средней тяжести
14. Превышение допустимого времени холостого хода аварийного тормоза	то же
15. Превышение допустимого времени срабатывания аварийного тормоза	"

Для описания работы каждого из названных выше звеньев подъемной установки в настоящее время разработано достаточно большое количество различных по уровню сложности математических моделей. Одна часть моделей используется при текущем контроле оборудования специализированными бригадами во время эксплуатации в соответствии с утвержденными по отрасли документами, другая часть, порой более сложная и точная, учитывающая большее число параметров, используется только при научных исследованиях. Существует определенная зависимость выбора на практике той или иной диагностической модели от возможностей доступных бригаде средств технической диагностики. Учитывая сложившийся современный уровень отечественной диагностической техники, используемой в горношахтном оборудовании можно заключить, что она еще не позволяет в полной мере использовать весь научно-технический потенциал, наработанный в настоящее время для комплексной диагностики и прогноза состояния техники. В связи с

этим и наборы контролируемых параметров и состав диагностического обеспечения еще нуждаются в своем дальнейшем развитии и адаптации для использования в труднодоступных местах шахтного подъемного комплекса с минимальными затратами времени и средств.

Первые отечественные системы диагностирования состояния оборудования шахтных подъемных комплексов описаны в работах сотрудников НИИГМ им. М.М. Федорова. [4, 5]. В них изложены основные схемные решения, направленные на создание и описаны программно-технические средства, обеспечивающие непрерывный постоянный сбор и первичную обработку данных в реальном масштабе времени и выдачу информации о работе подъемной установки в течение цикла. Система должна обеспечивать сохранение в оперативной памяти событий за последние десять циклов работы подъемной установки, возможность последующего анализа фиксированных данных, вводимых в банк памяти системы, автоматическую диагностику функциональных узлов, организацию тестов контроля и индикацию неисправностей.

Описанная аппаратура была предназначена для использования на этапе ввода нового или восстановленного оборудования и его частей, при ее применении выделяются индивидуальные особенности, характеризующиеся исходными параметрами, которые в дальнейшем учитываются в течение всего периода эксплуатации, начиная с момента обкатки. В общем виде блок-схема такой диагностической системы показана на рис. 2.

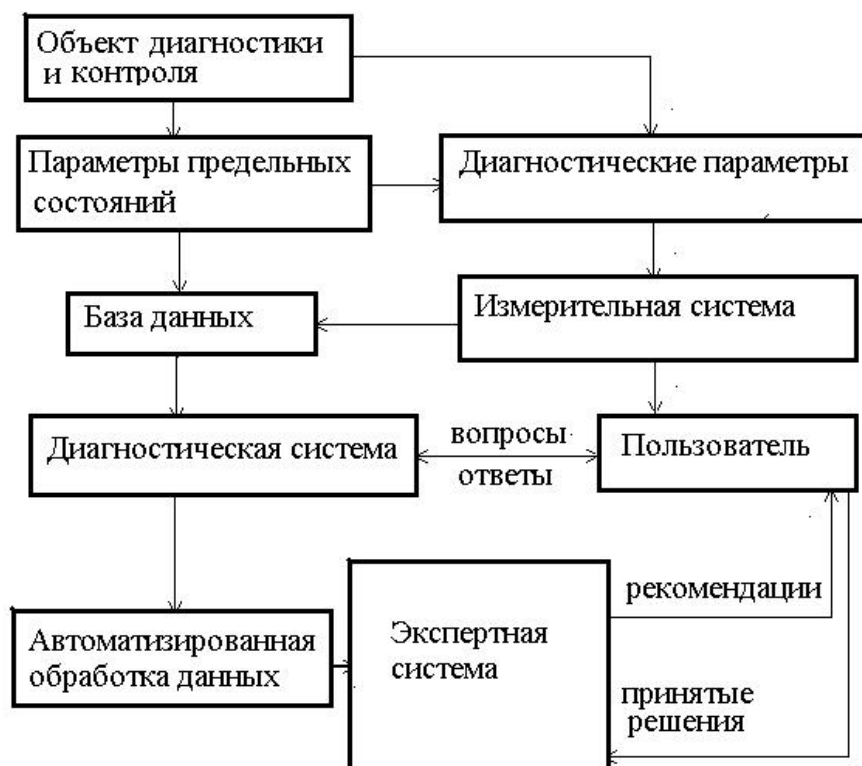


Рисунок 2 - Блок-схема экспертно-диагностической системы ШПУ

При решении задачи о выборе того или иного набора контролируемых ключевых параметров следует исходить из цели обеспечения достаточной наблюдаемости системы. Система считается полностью наблюдаемой, если для конечного интервала времени могут быть определены значения входных воздействий по измеренным значениям выходных сигналов.

Существует две возможности: первая - минимизировать число измеряемых параметров, при этом достаточный уровень наблюдаемости обеспечивается увеличением до требуемой величины количества измерений в единицу времени, вторая - минимизируется число измерений в единицу времени, а количество параметров выбирается из условия обеспечения достаточной наблюдаемости системы. Выбор одного или другого вариантов определяется из технико-экономических соображений в каждом конкретном случае подъемной установки.

Выводы.

1. Состояние эксплуатационной безопасности оборудования шахтных стволов зависит от совокупности четырех разнородных по своей природе факторов: искривления проводников вследствие горно-геологических и горнотехнических причин, водопритоков в стволе, коррозионного и механического износов металлоконструкций и запасов динамической прочности металлоконструкций под действием эксплуатационных нагрузок.

2. Аварийно-опасные режимы при работе ШПУ делятся на два типа: аварийные режимы, которые отслеживаются автоматикой установок в режиме реального времени и скрытые режимы, связанные с постепенным развитием микронарушений, накапливающихся в узлах оборудования. Скрытые аварийно-опасные режимы могут идентифицироваться по данным периодического или постоянного мониторинга ключевых параметров при анализе специализированной экспертной системой.

3. Набор и регламент контроля ключевых параметров формируются по критерию достаточной наблюдаемости системы в конкретных условиях эксплуатации в зависимости от типа и технической оснащенности подъемной установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомичев, Е.С. Риски в сфере основной деятельности горнодобывающих предприятий / Е.С. Фомичев // Горная промышленность. – 2003. - №6 - С.1-8. Режим доступа: <http://mining-media.ru/ru/article/ekonomich/1469-riski-v-sfere-osnovnoj-deyatelnosti-gornodobyvayushchikh-predpriyatij>

2. Ильин, С.Р. Разработка и обоснование общей диагностической модели оборудования шахтных подъемных установок С.Р. Ильин // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. - Вып. 76. - С. 44-63.

3. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок: нормативное производственно-практическое издание / В.Р. Бежок, В.Г. Калинин, В.Д. Клоноплянов, Е.М. Курченко // Под общей редакцией В.А. Корсуна, 3-е издание, перераб. и доп. – Донецк: Донеччина, 2009. – 627 с.

4. Коваль, А.Н. Оптимизационные системы диагностирования оборудования подъемных комплексов шахт / А.Н. Коваль // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1992. - № 11. - С. 68-73.

5. Коваль, А.Н. Система диагностирования машин и оборудования подъемных комплексов шахт / А.Н. Коваль // Разработка, эксплуатация и ремонт шахтных стационарных установок / Тр. НИИГМ им. М.М.Федорова. – Донецк, 1990. –С. 83-92.

REFERENCES

1. Fomichev, Ye.S. (2003), "Risks in the field of basic activity of mining enterprises", *Mining industry*, no.6 , pp. Available at: <http://mining-media.ru/ru/article/ekonomic/1469-riski-v-sfere-osnovnoj-deyatelnosti-gornodobyvayushchikh-predpriyatij>
2. Ylyin, S.R. (2008), "Development and ground of general diagnostic model of equipment of the mine lifting options", *Geo-Technical Mechanics*., no. 76, pp. 44-63.
3. Bezhok, V.R., Kalinin, V.G., Klonoplyanov, V.D. and Kurchenko, Ye.M. (2009), *Rukovodstvo po revizii, naladke i ispytaniyu shakhtnykh podyemnykh ustanovok: normativnoye proizvodstvenno – prakticheskoye izdaniye* [Guidance on the revision, adjusting and test of mine lifting options: normative production-practical edition], 3th edition, Donechchyna, Donetsk, UA.
4. Koval, A.N. (1992), "Optimization systems of diagnosing of equipment of lifting complexes of mines", *News of Institutes of Higher Education. Mine Magazine*, no. 11, pp. 68-73.
5. Koval, A.N. (1990), "System diagnosing of machines and equipment of lifting complexes of mines", *Development, exploitation and repair of mine stationary options*, M.N. Fedorov SIIMM, Donetsk, UA, pp. 83-92.

Об авторах

Ильин Сергей Ростиславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела горной термоаэродинамики и автоматизированных систем, Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина, iljin_sr@ukr.net

Радченко Владимир Константинович, магистр, директор ООО «АГАТ», Днепр, Украина.

Адорская Лариса Георгиевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела горной термоаэродинамики и автоматизированных систем, Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина.

About the authors

Ilyin Sergey Rostislavovsch, Candidate of Technical Science (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher of the Department of Rock Thermoaerodynamics and Automated Systems, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine (N.S. Polyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, Iljin_sr@ukr.net

Radchenko Vladymyr Konstantinovich, Master of Science, director of Limited Liability Company "AGAT", Dnepr, Ukraine

Adorskaya Larisa Georgiyevna, Candidate of Technical Science (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher of the Department of Rock Thermoaerodynamics and Automated Systems, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of National Academy of Sciences of Ukraine (N.S. Polyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine.

Анотація. У статті розглянуті основні процеси, що призводять до виникнення збоїв в механічному обладнанні шахтних підйомних установок, які можуть привести до аварійно небезпечних ситуацій з тяжкими матеріально-технічними наслідками і людськими жертвами. Показано, що стан експлуатаційної безпеки обладнання шахтних стволів залежить від сукупності чотирьох різнорідних за своєю природою факторів: викривлення провідників внаслідок гірничо-геологічних і гірничотехнічних причин, водопритоків в стовбурі, корозійного і механічного зносів металоконструкцій і запасів динамічної міцності металоконструкцій під дією експлуатаційних навантажень. Розглянуто аварійно-небезпечні режими при роботі шахтних підйомних установок. Показано, що за критерієм часу розвитку ситуації їх можна розділити на два типи: аварійні режими, які відслідковуються автоматикою установок в режимі реального часу і приховані режими, пов'язані з поступовим розвитком мікропорушень (мікроруйнування, мікрозносу, мікрорознаштування), що накопичуються в вузлах устаткування. Проведено класифікацію ризикоутворюючих режимів за критерієм

керованості і ступеня тяжкості наслідків. Розроблено відповідні схеми класифікації. Визначено параметри, контроль яких забезпечує повноту і достовірність інформації про поточний стан ланок підйомних установок, які найбільшою мірою впливають на безпеку роботи підйомного комплексу.

Ключові слова: шахтна підйомна установка, армування шахтного стовбура, посудина-армування, аварійні ситуації на шахтному підйомі, ризикоутворюючі фактори шахтного підйому.

Abstract. Main processes that lead to malfunctions in mechanical equipment of the mine hoisting systems, which can lead to emergency situations with heavy logistical and human consequences, are considered in the article. It is shown that state of operational safety of the mineshaft equipment depends on a set of four different factors: curvature of conductors due to mining and geological reasons; water inflows into the shaft; corrosion and mechanical wear of metal structures; and dynamic strength of metal structures under the influence of operational loads. The emergency-dangerous regimes of the mine hoisting plant operation are considered. It is shown that these regimes can be divided into two types by criterion of the situation evolution duration: emergency modes, which are monitored in real time by automatic devices of the plants, and hidden modes, which are associated with gradual development of micro-failures (micro-destruction, micro-wear, micro-tuning) accumulated in the equipment nodes. The risk-forming regimes are classified by criterion of controllability and severity of consequences. The corresponding classification schemes were developed. Parameters are determined, the control of which ensures completeness and reliability of information on the current state of the links of hoisting systems, which have the greatest effect on the safety of the hoisting complex.

Key words: mine hoisting plant, shaft reinforcement, vessel-reinforcement, emergency situations at mine hoisting, risk factors of mine hoisting.

Стаття поступила в редакцію 6.05. 2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским