

**КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЛУБОКИХ
СТВОЛОВ ШАХТ И РУДНИКОВ УКРАИНЫ****¹Ильин С.Р., ¹Адорская Л.Г., ²Радченко В.К., ³Самуся В.И., ³Ильина И.С.**

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²Комиссия комплексного анализа состояния стволов КАСС, ³Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» МОН Украины

**КОНЦЕПЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЛИБОКИХ
СТОВБУРІВ ШАХТ І КОПАЛЕНЬ УКРАЇНИ****¹Ільїн С.Р., ¹Адорська Л.Г., ²Радченко В.К., ³Самуся В.І., ³Ільїна І.С.**

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²Комісія комплексного аналізу стану стовбурів КАСС, ³Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України

**THE CONCEPT OF THE MONITORING SYSTEM OPERATING IN DEEP SHAFTS AND
ORE MINES OF UKRAINE****¹Ilin S.R., ¹Adorska L.H., ²Radchenko V.K., ³Samusya V.I., ³Ilina I.S.**

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²Commission for the comprehensive analysis of the condition of the cashes KASS, ³National Technical University "Dnipro Polytechnic" of the Ministry of Education and Science of Ukraine

Аннотация. В статье изложена концепция создания и функционирования системы мониторинга глубоких стволов шахт и рудников Украины. Концепция закладывает научно-методические основы формирования стратегии и планов развития работ по комплексному обследованию и оценке рисков шахтных стволов с длительными сроками эксплуатации. Цель таких работ - обеспечение эффективного и надежного функционирования шахтного подъема и повышение уровня его эксплуатационной безопасности в условиях интенсификации горных работ при переходе на большие глубины добычи. Определены базовые системообразующие аспекты создания и внедрения системы мониторинга – экономический, социальный и управленческий. Обозначена структура системы – функциональная, организационная и информационная. Определены основные направления функционирования системы, включающие создание новых технологий, разработку и совершенствование аппаратного, программного и нормативно-методического обеспечения. Сформулированы задачи функционирования системы, касающиеся сбора и обработки информации о параметрах оборудования ствола, разработки инструктивной документации по проведению инструментальных измерений в стволе, разработки моделей динамических процессов в стволе, разработки рискоориентированной технологии организации труда при эксплуатации оборудования шахтных стволов. Описаны методы аппаратного динамического контроля состояния и прочностных параметров системы «подъемный сосуд-армировка», к которым относятся расчетно-аналитический, аппаратный кинематический, аппаратный динамический и комплексный измерительно-аналитический методы. Для каждого метода приведен состав исходных данных, определяемых параметров и выдаваемых рекомендаций. Определены принципы организации и функционирования системы мониторинга в рамках межотраслевых программ. Сформулированы ожидаемые результаты функционирования системы в плане решения актуальных проблем добывающей отрасли Украины.

Ключевые слова: шахтный подъем, рудник, ствол, армировка, мониторинг, концепция.

В настоящее время, в соответствии с растущими потребностями рынка и в условиях ограничения финансовых, материальных и сырьевых ресурсов, актуальным является выявление потенциальных ресурсов передовых горных технологий для обеспечения интенсивного пути развития горнодобывающих предприятий. Экономическая эффективность ведения всего комплекса работ по

добыче полезных ископаемых в значительной мере зависит от расходов на поддержание эксплуатационного состояния систем шахтного подъема, что приобретает особое значение в условиях интенсификации горных работ на шахтах и рудниках [1].

Основная цель создания системы мониторинга при эксплуатации глубоких стволов шахт и рудников Украины (далее – Система) – обеспечение эффективного и надежного функционирования шахтного подъема при переходе на большие глубины добычи при одновременном повышении уровня эксплуатационной безопасности. Актуальность создания и внедрения Системы обусловлена негативными тенденциями ежегодного усложнения горно-геологических и горнотехнических условий функционирования шахтного подъема, следствием чего является повышения рисков эксплуатации шахтных подъемных установок с длительными сроками эксплуатации [2,3].

Система представляет собой совокупность материально-технических средств, научно-обоснованных методов и организационных мероприятий, позволяющих оперативно получать, передавать, накапливать, обрабатывать и анализировать измерительную и экспертно-аналитическую информацию о текущих параметрах и характеристиках элементов шахтных стволов и прогнозировать их изменения во времени.

Система обеспечивает выработку обоснованных рекомендаций для принятия эффективных решений по повышению уровня безопасности и надежности эксплуатации стволов, снижению рисков их аварийной опасности и уменьшению затрат на эксплуатацию [4, 5].

В основе организации Системы лежат общие принципы и задачи, которые определяют цели, положения и требования действующих нормативно-правовых документов по вопросам безопасности эксплуатации шахтных стволов на территории Украины.

Системообразующие аспекты:

а) экономический, предполагающий соблюдение оптимальности использования финансовых и материальных ресурсов для обеспечения качественного функционирования Системы.

б) социальный, отражающий соответствие и адекватность функционирования Системы требованиям обеспечения безопасности труда;

в) управленческий, предполагающий соблюдение эффективности управления Системой в регионе и управленческой поддержки на разных уровнях.

Структура Системы определяется набором следующих схем:

а) функциональная, отражающая комплекс задач функционирования Системы, их иерархию и связи;

б) организационная, отражающая количественный и качественный состав субъектов Системы, их связи, иерархию и отношения взаимоподчиненности;

в) информационная, отражающая состав и направленность информационных потоков в Системе.

Основные направления функционирования Системы:

а) создание новых информационных технологий и программного обеспечения обследований и испытаний оборудования стволов в условиях высоконагруженных режимов добычи, больших глубин подъема и длительных сроков эксплуатации стволов;

б) создание комплекса методов, обеспечивающих получение и обработку информации о состоянии оборудования стволов, определение характера, последовательности, объемов работ и затрат ресурсов на проведение профилактических и ремонтно-восстановительных работ;

в) разработка и совершенствование нормативно-методического обеспечения, определяющего порядок, организацию и методики обследований оборудования шахтных стволов как объектов на предприятиях повышенной опасности;

г) разработка и совершенствование технической и аппаратурной базы в связи с усложнением горно-геологических и горнотехнических условий добычи в сочетании с факторами износа и старения стволового оборудования.

Задачи функционирования Системы:

а) сбор, накопление, обработка, сохранение и анализ информации о текущих параметрах и характеристиках оборудования шахтного ствола, влияющих на безопасность его эксплуатации, прогнозирования их изменения во времени, определения мест, источников и характера потенциальной опасности;

б) разработка методического обеспечения и инструктивной документации по проведению инструментальных измерений параметров оборудования ствола в промышленных условиях на действующих стволах, алгоритмов и программ компьютерной обработки результатов измерений;

в) разработка методического обеспечения и инструктивной документации по определению плавности хода подъемных сосудов, алгоритмов и программ компьютерной обработки результатов измерений;

г) разработка комплексных моделей динамических процессов в шахтном стволовом оборудовании, обуславливающих его деградацию, для диагностики и прогнозирования развития негативных явлений и процессов в условиях больших глубин подъема и длительных сроков эксплуатации стволов;

д) определение рискообразующих факторов при работе шахтных подъемных установок и разработка обобщенных критериев ранжирования уровней рисков и аварийной опасности эксплуатации шахтных стволов при длительных сроках их службы [6];

е) разработка рискориентированной технологии организации рабочих мест на шахтных подъемных комплексах;

ж) разработка компьютерной системы оценки и документирования рисков на рабочих местах в шахтном стволе, составления планов предупреждающих и корректирующих мероприятий в соответствии с нормативно-техническими требованиями;

и) разработка методов профилактики, направленных на противодействие нарушениям при эксплуатации оборудования шахтных стволов.

Принципы организации Системы. Система должна осуществляться силами ряда специализированных организаций, академических и отраслевых учреждений, ученых и специалистов горнодобывающей промышленности в рамках соответствующей межотраслевой программы. Программа должна быть ориентирована на комплексный подход по применению Системы в широком спектре горно-геологических условий шахт и рудников Украины и нацелена на достижение в сжатые сроки широкомасштабного внедрения Системы в отрасли.

Программа должна включать комплекс мероприятий в соответствии со следующими основными направлениями:

- а) материально-техническое обеспечение Системы;
- б) научно-методическое обеспечение Системы;
- в) организация широкомасштабного внедрения Системы.

Основные задачи программы предполагают получение конечных результатов в виде научно-технических разработок, нормативно-методических документов, передовых технологий, комплекса мероприятий по освоению серийного производства новой техники и организации внедрения Системы в отрасли.

Реализация Системы предполагает применение комплекса методов динамического контроля, обеспечивающих получение и обработку информации о состоянии оборудования ствола.

Динамический контроль применяется во всех стволах при проведении экспертного обследования (технического осмотра) с целью определения фактического технического состояния системы «подъемный сосуд-армировка», при этом допустимые методы динамического контроля зависят от технико-эксплуатационных параметров их оборудования на момент обследования.

Применяются следующие виды динамического контроля.

Расчетно-аналитический метод с использованием математического моделирования динамического состояния системы «подъемный сосуд - жесткая армировка». При этом в качестве исходных данных для проведения расчетов используются данные аппаратурных (инструментальных) измерений параметров, к которым относятся:

- а) конструктивные проектные параметры армировки и подъемного сосуда;
- б) потери сечения проводников и расстрелов;
- в) кинематических зазоров в парах «башмак-проводник»;
- г) параметров кривизны профилей проводников.

В результате расчетов определяются:

- а) допустимая скорость по критерию динамической устойчивости взаимодействия сосуда с армировкой;
- б) допустимая скорость по критерию кинематического зацепления;
- в) допустимая скорость по критерию прочности армировки.

Выдаются рекомендации:

- а) по дальнейшему скоростному режиму и допустимой грузоподъемности для каждого из подъемных сосудов, работающих в стволе;
- б) по ремонтным работам в стволе для сохранения заданного безопасного

скоростного режима и грузоподъемности установок ствола, восстановления прочностных параметров расстрелов и проводников, коррекции их профилей.

Аппаратурный кинематический метод, в результате применения которого определяются поярусные (максимальные в пролете, привязанные к глубинным отметкам в стволе) значения горизонтальных и вертикальных ускорений башмаков подъемного сосуда.

Выдаются рекомендации:

а) по выполнению адресной, привязанной к глубинным отметкам в стволе, местной профилировке проводников на коротких участках;

б) по проведению параметрического анализа профилей системы проводников каждого грузоподъемного отделения ствола;

в) по выявлению отклонений параметров профилей системы проводников отделений сверх номинальных значений, генерирующих динамические возмущения с повышенными значениями горизонтальных ускорений;

г) по коррекции профилей проводников и устранению сверхноминальных значений параметров их кривизны.

Аппаратурный динамический метод, который имеет две модификации:

а) метод прямого измерения силоизмерительными датчиками контактных усилий в парах «башмак-проводник»;

б) измерительно-аналитический метод с аппаратурным измерением горизонтальных ускорений башмаков подъемного сосуда и расчетным определением контактных нагрузок на основании комплексных динамических моделей систем «сосуд-армировка».

В результате измерений и расчетов определяются максимальные в пролете, привязанные к глубинным отметкам в стволе контактные усилия в парах «башмак - проводник».

Выдаются рекомендации:

а) по выполнению адресной, привязанной к глубинным отметкам в стволе, местной профилировке проводников на коротких участках;

б) по проведению параметрического анализа профилей системы проводников каждого грузоподъемного отделения ствола;

в) по выявлению отклонений параметров профилей системы проводников отделений сверх номинальных значений, генерирующих динамические возмущения с повышенными значениями горизонтальных нагрузок;

г) по коррекции профилей проводников и устранению сверхноминальных значений параметров их кривизны.

Комплексный измерительно-аналитический метод, при котором в результате измерений и расчетов определяются:

а) максимальные в пролете, привязанные к глубинным отметкам в стволе контактные усилия в парах «башмак - проводник»;

б) потери сечения проводников и расстрелов;

в) кинематические зазоры в парах «башмак-проводник»;

г) параметры кривизны профилей проводников;

д) параметры диаграммы скорости движения подъемных сосудов;

е) минимальные в пролете, привязанные к глубинным отметкам в стволе остаточные запасы прочности проводников и расстрелов.

Выдаются рекомендации:

а) по выполнению адресной, привязанной к глубинным отметкам в стволе, местной профилировке проводников на коротких участках;

б) по коррекции профилей проводников и устранению сверхноминальных значений параметров их кривизны, вызывающие повышенные динамические нагрузки;

в) по ремонтным работам в стволе с целью сохранения технологически заданного безопасного скоростного режима и грузоподъемности установок ствола, восстановления прочностных параметров проводников и расстрелов;

г) по дальнейшему скоростному режиму и допустимой грузоподъемности для каждого из подъемных сосудов, работающих в стволе в межремонтный период.

Предварительное техническое состояние систем «сосуд-армирование» определяется оптико-визуальным методом. Выбор метода динамического контроля проводит организация, выполняющая экспертное специализированное обследование шахтного ствола на основании результатов оптико-визуального контроля.

Реализация мероприятий Системы, при надлежащем научно-техническом, методическом и организационном обеспечении, позволит достичь качественно нового уровня в решении следующих актуальных проблем отрасли [1, 2]:

а) социальных, за счет повышения безопасности функционирования шахтных подъемных комплексов, существенного сокращения производственного травматизма при эксплуатации стволов;

б) экономических, за счет кардинального повышения производительности шахтного подъема, снижения затрат на материальные ресурсы и объемы ремонтно-восстановительных работ в стволах и ликвидацию последствий аварийных ситуаций;

в) народно-хозяйственных, за счет содействия улучшению ключевого показателя конкурентоспособности горных предприятий – себестоимости продукции, с целью обеспечения энергетической безопасности страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин С.Р., Адорская Л.Г., Самуся С.В. Обеспечение безопасности работы шахтных подъемов в стволах при сложных горно-геологических и горнотехнических условиях // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. Днепропетровск, 2014. Вып. 119. С. 20 – 35.
2. ГР 3-032-2004 «Діагностика стану систем „кріплення-масив” та „підйомна посудина-жорстке армування” шахтних стовбурів. Порядок та методика виконання». Київ: Міністерство промислової політики України, 2004. 40с.
3. Ильин С.Р., Ильина С.С., Самуся В.И. Механика шахтного подъема. М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. Днепропетровск: НГУ, 2014. 247 с.
4. Ильин С.Р., Адорская Л.Г., Послед Б.С. Измерительно-аналитическая компьютерная технология диагностики и управления состоянием оборудования шахтных подъемных комплексов // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. Днепропетровск, 2011. Вып. 93. С. 28-38.
5. Iljin S.R., Adorskaya L.G., Radchenko V.G., Posled B.S., Ijina I.S., Ijina S.S. The Experience Of Dynamic Apparatus Control And Estimation Of Exploitation System Safety “Vessel – Reinforcement” Of Vertical Mining Shafts // Transport szybowy. Monografia. Instytut Techniki Gornicej, 2013. P. 163-175.

6. Ильин С.Р., Радченко В.К., Адорская Л.Г. Рискообразующие процессы при работе шахтных подъемных установок // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр. Днепр, 2017. Вып. 134. С. 22-33.

REFERENCES

1. Ilin, S.R., Adorskaya, L.G. and Samusia, S.V. (2014), "Ensuring the safety of the mine rises in the shafts under complex mining and geological and mining conditions", *Geo-Technical Mechanics*, no. 119, pp. 20-35.
2. Ministry of Industrial Policy of Ukraine (2004), *GR 3-032-2004 Diagnostyka stanu system "kriplennya-masyv" ta "pidyomna posudyna-xhorstke armuvannya" shakhtnykh stovburiv. Poryadok ta metodyka vykonannya* [GR 3-032-2004 Diagnostics of the state of the systems of "attachment-array" and "lifting vessel-rigid reinforcement" of mine shafts. Procedure and method of execution], Kyiv, UA.
3. Ilin, S.R., Ilina, S.S. and Samusia, V.I. (2014), *Mekhanika shakhtnogo podyema* [Mine lifting mechanics], Ministry of Education and Science of Ukraine, National Mining University, Dnipropetrovsk, UA.
4. Ilin, S.R., Adorskaya, L.G. and Posled, B.S. (2011), "Measuring and analytical computer technology for diagnosing and managing the condition of equipment in mine lifting complexes", *Geo-Technical Mechanics*, no. 93, pp. 28-38.
5. Ilin, S.R., Adorskaya, L.G., Radchenko, V.K., Posled, B.S., Ilina, I.S. and Ilina, S.S. (2013), "The Experience Of Dynamic Apparatus Control And Estimation Of Exploitation System Safety "Vessel – Reinforcement" Of Vertical Mining Shafts", *Transport szybowy. Instytut Techniki Gornicej*, pp. 163-175
6. Ilin, S.R., Radchenko, V.K. and Adorskaya, L.G. (2017), "Risk-forming processes during the operation of mine hoisting installations", *Geo-Technical Mechanics*, no. 134, pp. 22-33.

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 НАН Украины), г. Днепр, Украина. iljin_sr@ukr.net

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 НАН Украины), г. Днепр, Украина. adors@i.ua

Радченко Владимир Константинович, магистр, Комиссия комплексного анализа состояния стволов КАСС, ответственный секретарь, ООО «АГАТ», технический руководитель, г. Кривой Рог, Украина. kass2@ukr.net

Самуся Владимир Ильич, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Горной механики» Национального технического университета «Днепропетровская политехника» МОН Украины, г. Днепр, Украина. vsamusya@gmail.com

Илина Инна Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Горной механики» Национального технического университета «Днепропетровская политехника» МОН Украины, г. Днепр, Украина. is.ilijina@gmail.com

About the authors

Ilin Serhii Rostyslavovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher of the Department of Rock Thermoaerodynamics and Automated Systems, Institute of Geotechnical Mechanics named by N.S. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine. iljin_sr@ukr.net

Adorska Larysa Heorhiivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher of the Department of Rock Thermoaerodynamics and Automated Systems, Institute of Geotechnical Mechanics, named by N.S. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS OF Ukraine), Dnipro, Ukraine, adors@i.ua

Radchenko Volodymyr Kostyantynovych, Master of Sciences, Commission for the comprehensive analysis of the condition of the cashes KASS, executive Secretary, Limited Liability Company "AGAT", Technical Manager, Krivyi Rih, Ukraine. kass2@ukr.net

Samusya Volodymyr Illich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Head of the Department of Mining Mechanics, National Technical University "Dnipro Polytechnic" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine. vsamusya@gmail.com

Ilina Inna Serhiivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Mining Mechanics, National Technical University "Dnipro Polytechnic" of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine. is.ilijina@gmail.com

Анотація. У статті викладено концепцію створення та функціонування системи моніторингу глибоких стовбурів шахт і копалень України. Концепція закладає науково-методичні засади формування стратегії та планів розвитку робіт з комплексного обстеження та оцінки ризиків шахтних стовбурів з тривалими термінами експлуатації. Мета таких робіт - забезпечення ефективного і надійного функціонування шахтного підйому, підвищення рівня його експлуатаційної безпеки в умовах інтенсифікації гірничих робіт при переході на великі глибини видобутку. Визначено базові системо-утворюючі аспекти створення та впровадження системи моніторингу - економічний, соціальний і управлінський. Позначено структуру системи - функціональну, організаційну та інформаційну. Визначено основні напрямки функціонування системи, що включають створення нових технологій, розробку і вдосконалення апаратного, програмного і нормативно-методичного забезпечення. Сформульовано завдання функціонування системи, що стосуються збору і обробки інформації щодо параметрів устаткування стовбура, розробки інструктивної документації з проведення інструментальних вимірювань в

стовбурі, розробки моделей динамічних процесів в стовбурі, розробки ризик-орієнтованої технології організації праці при експлуатації устаткування шахтних стовбурів. Описано методи апаратного динамічного контролю стану і параметрів міцності системи «підйомна посудина-армування», до яких відносяться розрахунково-аналітичний, апаратний кінематичний, апаратний динамічний і комплексний вимірювально-аналітичний методи. Для кожного метода наведено склад вихідних даних, параметрів, що визначаються і рекомендацій, що надаються. Визначено принципи організації та функціонування системи моніторингу в рамках міжгалузевих програм. Сформульовано очікувані результати функціонування системи в плані вирішення актуальних проблем добувної галузі України.

Ключові слова: шахтний підйом, рудник, стовбур, армування, моніторинг, концепція.

Annotation. In the article, a concept of the monitoring system creation for and functioning in the deep shafts and mines of Ukraine is described, which lays scientific and methodological foundations for the formation of a strategy and plans of the expansion for comprehensive examining and risk assessment of the mine shafts with long service life. The purpose of these works is to ensure effective and reliable functioning of the mine hoister and to improve its operational safety at intensification of mining operations and their transition to the greater depths of extraction. The basic system-forming aspects — economic, social and managerial — of the monitoring system creation and implementation are formulated. The system structure is specified: it is functional, organizational and informational. The main directions of the system functioning including creation of new technologies, development and improvement of hardware, software and normative and methodological support are determined. The objectives of the system functioning are formulated, which include collection and processing of information about parameters of the shaft equipment, development of instructions for conducting instrumental measurements in the shaft, designing of models of dynamic processes in the shaft, development of a risk-oriented technology of labour management during the shaft equipment operation. The methods for instrumental-dynamic controlling of the state of the "cage-shaft equipment" system and its strength parameters are described, which include computational-analytical, instrumental kinematic, instrumental dynamic and combined measuring-and-analytical methods. For each of the methods, content of initial data, parameters to be determined and recommendations to be issued are given. Principles of the monitoring system organization and functioning in the framework of interindustry programs are specified. The expected results of the system functioning are formulated in terms of solving live problems of the Ukrainian mining industry.

Key words: mine hoister, ore mine, shaft, shaft equipment, monitoring, concept.

Стаття надійшла до редакції 6.11. 2018

Рекомендовано до друку чл.-кор. НАН України О.П. Круковським