

УДК 622.33:004.8:681.5

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ

ДАНЕВ А.Я.¹, ДЕНЕВ Д.Р.²

¹студент Шуменского университета им. Епископа Константина Преславского

²гл. ассистент, д-р, инж. Шуменского университета им. Епископа Константина Преславского, Факультет технических наук, кафедра «Коммуникационной и компьютерной техники и технологий безопасности»,
г. Шумен, Болгария, e-mail: d.denev@shu.bg

Аннотация: В настоящем исследовании представлен точный, многоуровневый и методологически обоснованный анализ ведущих направлений инноваций в угольной отрасли, рассматриваемый через призму системной инженерии и цифро-кибернетических парадигм современных производственных архитектур. В обзоре прослеживается трансформация традиционных моделей горнодобывающей промышленности в интеллектуальные экосистемы, структурированные посредством интеграции высоко детерминированных киберфизических систем (КФС), автономных роботизированных платформ и адаптивных алгоритмов управления, работающих в режиме реального времени.

Ключевые слова: промышленность, экосистемы, уголь

Abstract: This study presents a precise, multi-layered and methodologically sound analysis of the leading innovation directions in the coal mining industry, deployed through the prism of systems engineering and digital-cybernetic paradigms of modern production architectures. The review traces the transformation of traditional mining models towards intelligent mining ecosystems, structured through the integration of highly deterministic cyber-physical systems (CPS), autonomous robotic platforms and adaptive control algorithms operating in real time.

Keywords: industry, ecosystems, coal

ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленная деятельность находится в критическом состоянии на этапе, обусловленном ускорением оцифровки производственных процессов, быстрыми темпами роста энергетической эффективности и устойчивости, как и необходимо для минимизации технологических процессов в сложных геомеханических условиях. Традиционные модели механического изготовления в домашних условиях не обеспечивают достаточную оперативную эффективность и безопасность, что позволяет интегрировать сложные цифрово-кибернетические архитектуры, автономные роботизированные системы и интеллектуальные алгоритмы для адаптивного управления, основанные на машинном обучении и прогнозирующем анализе. Невозможно реализовать современные технологические решения – включая интеллектуальные платформы эко-мониторинга, энергосберегающие системы для создания

мощностей и оптимизации вентиляционных систем – создать инженерную синергию, которая обеспечивает максимальную эффективность производства с минимальной Экологичность и высокая степень печати на технологической автономности. На рис. 1 представлена схема преобразования угольной отрасли. [2], [8], [11]



Рисунок 1 - Преобразование угольной промышленности

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ГОРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цифровизация горных процессов – это фундаментальный вектор инженерно-системной трансформации угольной отрасли, в рамках которой традиционные механические парадигмы трансформируются в интеллектуальные, самокорректирующиеся и предиктивно управляемые производственные архитектуры. Этот технологический переход не только оптимизирует эксплуатационные параметры, но и гарантирует высокоточное регулирование и прослеживаемость на каждом этапе горнодобывающего цикла (рис. 2) – от геомеханического анализа до момента фактической добычи сырья.



Рисунок 2 - Цифровизация горных процессов

Внедрение цифровых двойников является центральным элементом этой трансформации. Благодаря сложной параметризации систем подземной и открытой добычи цифровые двойники позволяют с высокой точностью моделировать компоненты инфраструктуры, динамику масс, изменения напряжений и взаимодействие агрегатов с геологической средой. [1], [9], [13]

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Современная угольная промышленность переживает период интенсивной технологической реконфигурации, в рамках которой классические парадигмы горного дела претерпевают фундаментальное переосмысление. Производственная архитектура постепенно трансформируется от механических процессов, управляемых человеком, к высокодетерминированным автономным экосистемам, созданным на основе интеграции роботизированных машин, распределенных интеллектуальных агентов, киберфизических уровней и алгоритмических управляющих структур. В основе этого перехода лежит конвергенция нескольких ключевых инженерных дисциплин – мехатроники, кибернетического управления, геомеханики, искусственного интеллекта, промышленных протоколов связи и высокоточной сенсорики, – которые формируют непрерывно самокорректирующуюся инфраструктуру горнодобывающей промышленности. На рисунке 3 представлена концептуальная модель, представляющая основные компоненты инновационных технологий горного дела. [4], [12], [14]



Рисунок 3 - Инновационные технологии и модели добычи полезных ископаемых

АВТОНОМНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Автономные робототехнические системы (АРС) представляют собой фундаментальное киберфизическое ядро современной автоматизации горных работ, где алгоритмическая автономность, вычислительно-когнитивные архитектуры и высокоточная мехатронная кинематика синтезированы в единую операционную среду, способную функционировать в реальном времени в экстремальных геомеханических и газодинамических условиях. Эти системы функционируют в детерминированно неполных и стохастически изменчивых средах, характеризующихся динамическими изменениями напряженно-деформированного состояния массивов, ограниченной визуальной доступностью, высокой изменчивостью спектров вибраций и высоким коэффициентом техногенного риска – параметрами, делающими классические модели, управляемые человеком, технологически неадекватными или опасными. Для обеспечения безопасной, надежной и легитимной эксплуатации АРС во многих странах применяется подход, аналогичный открытому списку сертифициро-

ванных структур: каждая автономная система проходит проверку на соответствие стандартам качества, безопасности и эксплуатационной надежности, соответствующим национальным и международным требованиям. В таблице 1 представлены основные количественные показатели, а рис 4 результаты. [3], [5], [10]

Таблица 1 - Основные количественные показатели автономных робототехнических систем

Значения	Показателей
Уровень автономности (%)	82–97
Скорость манипулятора (м/с)	0,8–3,4
Точность позиционирования (мм)	0,4–1,8
Концентрация газа CH_4	0,1–4,8
Частота вибрации (Гц)	5–220
Среднее время безотказной работы (часы)	9000–24000
Производительность (т/ч)	140–620

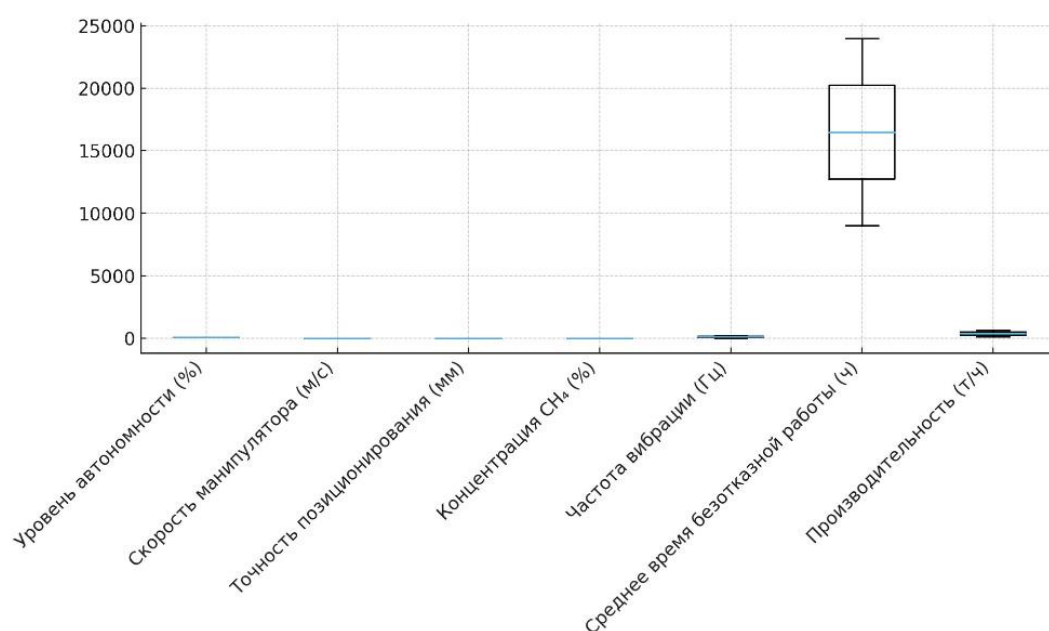


Рисунок 4 - Распределение параметров системы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем исследовании показано, что стратегическое внедрение инновационных технологических решений в угольной отрасли является критически важным фактором оптимизации производственных параметров, минимизации эксплуатационных рисков и повышения технологической устойчивости горнодобывающих систем. Благодаря интеграции цифровизации, киберфизических систем (КФС), мониторинга в реальном времени и автономных роботизированных систем создается интеллектуальная многоуровневая экосистема горнодобывающей промышленности, способная динамически управлять горными работами с высокоточной синхронизацией потоков ресурсов, кинематических и геомеханических параметров даже в непредсказу-

емо изменяющихся геомеханических и газодинамических условиях. Внедрение цифровых двойников, параметризованных с помощью сенсорных сетей высокого разрешения и модулей обработки на периферии, позволяет проводить производственное моделирование структурных деформаций, спектров вибрации и динамики потока руды, выполняя прогностический анализ критических нагрузок и алгоритмическую оптимизацию режимов добычи. Результатом является минимизация воздействия человека на зоны риска, снижение незапланированного перегрева механических компонентов и стабильное управление энергетическими и транспортными потоками. [6], [7]

Список литературы:

1. Чжоу Ф., Синь Х., Вэй Л., Ши Г., Ся Т. Современное состояние исследований теории и технологий интеллектуальной вентиляции шахт. *Coal Science and Technology*, 2023, Т. 51, № 1, С. 313–328.
2. Чжан Л., Лю Я. Исследование технологий ключевых этапов интеллектуальной вентиляции в шахтах. *Coal Science and Technology*, 2024, Т. 52, № 1, С. 178–195.
3. Чжаохуао У., Ван Лигуань, Цзи Сяньвэй. Ключевые технологии и интегрированные решения для интеллектуальных систем вентиляции шахт. *Technologies*, 2025, Т. 13, № 10, Статья 451.
4. Хуан Цзэнхуа, Гэ Широнг, Хэ Юнхуа, Ван Дандань, Чжан Шоусян. Архитектура интеллектуальной системы и стратегия управления коллективами горных роботов. *Energies*, 2024, Т. 17, № 8, Статья 1834.
5. Linko G. Nikolov, Vasil O. Slavyanov. NETWORK INFRASTRUCTURE FOR CYBERSECURITY ANALYSIS. *Proceedings of International Scientific Conference “Defense Technologies”*, ISSN 2367-7902, pp. 191–195.
6. Цанков Ц. С. Съвременни методи за управление на ресурси в компютърни индустриални мрежи. Университетско издателство „Епископ К. Преславски“, Шумен, 2022, ISBN 978-619-201-618-0, 150 с.
7. Uzun M. B., Atanasov V. T. COMMON CONCEPTION OF SOFTWARE-DEFINED NETWORKS. *Annual of Konstantin Preslavsky University of Shumen*, vol. XIII E, 2023, ISSN 2815-4703 (online), pp. 112–119.
8. Ivanov V. Simulation, modelling and analysis of a series oscillating circuit. *AIP Conf. Proc.* 2570, 2022, ISBN 978-0-7354-4375-4, <https://doi.org/10.1063/5.0100042>
9. Ivanov V. A simulation method for improving the efficiency of power lines from electric networks. *Proceedings of the Union of Scientists – Ruse*, Book 1, Technical Sciences, Volume 16, 2022, ISSN 1311-106X, pp. 50–56.
10. Linko G. Nikolov. WIRELESS NETWORK VULNERABILITIES ESTIMATION. *International Scientific Journal “Security & Future”*, Vol. 2 (2018), Issue 2, WEB ISSN 2535-082X; PRINT ISSN 2535-0668, pg(s) 80–82.
11. Stoyanova V., Rakov M. Analyses of 0-day threats with fireeyeedr. *International Scientific Conference “Defense Technologies”*, 2022, ISSN 2367-7902, pp. 426–431.

-
12. Stefanova, A. Flood risk assessment and management under directive 2007/60/EU: geodetic approaches and digital technologies for effective prevention. Environment Technology Resources, Proceedings of the 16th International Scientific and Practical Conference, Rezekne, Latvia, June 19–20, 2025, Vol. 4, ISSN 2256-070X, pp. 393–397, <https://doi.org/10.17770/etr2025vol4.8402>
 13. Stefanova, A. Geodesy 4.0: Geodesy transformation via new technologies. Proceedings of International Scientific Conference on Architecture and Civil Engineering ArCivE 2025, Varna, Vol. 5, 2025, ISSN 2535-0781, pp. 311–317.
 14. Tsankov Ts., Staneva L. Improving students' spatial perception through CAD software in geometry and stereometry education. International Journal on Information Technologies and Security, Vol. 17, № 4, 2025, ISSN 1313-8251, pp. 15–22, <https://doi.org/10.59035/CZTW6471>