



СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

Ю.П. ПАНОВ¹, А.А. ГРАБСКИЙ^{1,*}, А.А. РОЖКОВ²

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² ФГБУ «Российское энергетическое агентство»
105, стр. 1, пр-кт Мира, г. Москва 129085, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Инновационные разработки роботизированных систем добычи и переработки полезных ископаемых уже в ближайшее время смогут принципиально изменить технико-технологические принципы функционирования горных предприятий и приблизить нас к созданию интеллектуального горного предприятия.

Цель. На основе анализа текущего состояния использования в угольных компаниях России техники, технологий и современных инновационных разработок с цифровыми элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0» разработать обоснованные предложения по созданию нового инновационного цифрового технологического базиса угольной промышленности.

Материалы и методы. Исследование базировались на системном подходе, теории цепочек добавленной стоимости, методах экспертных оценок, технологического форсайта, логического и сравнительного анализов, экономико-статистической обработки информации, включая ее табличную интерпретацию. Информационной базой исследования явились данные угольных компаний, АО «Росинформуголь», интернет-источники и публикации в открытой печати.

Результаты. Предлагается сформировать и развивать пять групп ключевых технологических цифровых отраслевых платформ (ТП) с кратким описанием технологий и направлений их развития: 1) ТП «Поисковые и разведочные работы»; 2) ТП «Технологии подземных горных работ»; 3) ТП «Технологии открытых горных работ»; 4) ТП «Технологии переработки угля и отходов производства»; 5) ТП «Технологии транспортировки горной массы». При этом предлагается перспективные возможности инновационного цифрового потенциала угольной промышленности реализовать в два этапа с осуществлением в итоге структурно-инновационной и цифровой трансформации угольной отрасли.

Заключение. На основе предлагаемых новых инновационных технологических цифровых платформ угольной промышленности России будут решаться следующие актуальные задачи:

- определение основных требований и функциональных свойств отечественной угольной промышленности на базе стратегии «Индустрия 4.0» и принципов их осуществления;
 - определение основных технологических направлений по основным секторам (процессам) технологического развития угольной отрасли: поисковые и разведочные работы; подземная и открытая добыча угля; обогащение, переработка угля и отходов производства; транспортировка угля;
 - определение основных компонентов, технологий, информационных и управленческих решений во всех вышеуказанных процессах;
 - диверсификация деятельности угледобывающих компаний при создании продуктов с высокой добавленной стоимостью;
 - преодоление технологического разрыва и импортозависимости путем реализации поэтапного импортозамещения и инновационного развития российской угольной промышленности и отечественного горного машиностроения с достижением технологического суверенитета.
- Кроме того, результаты исследования позволят эффективно использовать при создании на принципах государственно-частного партнерства единой сети научно-образовательных центров для разработки и доведения до промышленного использования прорывных иннова-

ционных технологий в угольной, горной и геолого-разведочной отраслях промышленности, а также при подготовке высококвалифицированных кадров на базе МГРИ.

Ключевые слова: цифровые технологии, угольная промышленность, инновации, Индустрия 4.0, IT, технологическая платформа, подготовка высококвалифицированных кадров на базе МГРИ

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Панов Ю.П., Грабский А.А., Рожков А.А. Современное состояние и перспективы развития цифровых технологий в угольной промышленности России. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(5):8—21. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-5-8-21>

Статья поступила в редакцию 25.08.2023

Принята к публикации 30.09.2023

Опубликована 31.10.2023

* Автор, ответственный за переписку

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR DIGITALIZATION OF THE RUSSIAN COAL INDUSTRY

YURI P. PANOV¹, ALEXANDR A. GRABSKI^{1,*}, ANATOLY A. ROZHKOV²

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *Russian Energy Agency
105, bld. 1, Mira Ave., Moscow 129085, Russia*

ABSTRACT

Background. Innovative robotic systems for mineral extraction and processing are increasingly changing the core operational principles of mining enterprises, thus making the creation of an intelligent mining enterprise a reality.

Aim. To develop a set of proposals for promoting the digitalization of the coal industry in Russia by carrying out an analysis of the current state of implementation of innovative equipment and digital technologies within the Industry 4.0 state initiative in Russian coal companies.

Materials and methods. The research was conducted using the methods of systems approach, value chain theory, expert evaluation, technological foresight, logical and comparative analysis, economic and statistical processing of information, including its tabular interpretation. The research materials included the data of coal companies, JSC “Rosinformugol”, Internet sources, and open publications.

Results. The proposal is made to develop five groups of key technological digital industry platforms (TP), as follows: 1) TP “Prospecting and exploration works”; 2) TP “Underground mining technologies”; 3) TP “Open-pit mining technologies”; 4) TP “Technologies for processing coal and industrial waste”; 5) TP “Technologies for transporting rock mass”. It is proposed to implement the innovative digital potential of the coal industry in two stages, thereby completing the structural and digital transformation of the coal industry.

Conclusion. The proposed TPs of the Russian coal industry should solve the following tasks:

- determination of the basic requirements and functional properties of the Russian coal industry based on the Industry 4.0 state initiative, along with the principles of their implementation;
- determination of the main technological directions for the main sectors (processes) of technological development of the coal industry, including prospecting and exploration; underground and open-pit coal mining; upgrading and processing of coal and industrial waste; transportation of coal;
- identification of the main components, technologies, information and management solutions in all the above processes;

- diversification of the activities of coal mining companies in the creation of products with high added value;
- overcoming the technological gap and import dependence by implementing phased import substitution and innovative development of the Russian coal industry and mining engineering with the achievement of technological sovereignty.

The research results can be used when creating a unified network of scientific and educational centers on the principles of public-private partnership for the development and industrial implementation of innovative technologies in the coal, mining, and exploration industries, as well as in the training of highly-qualified personnel on the basis of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

Keywords: digital technologies, coal industry, innovations, Industry 4.0, IT technologies, technology platform, highly qualified personnel training, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Panov Yu.P., Grabski A.A., Rozhkov A.A. Current state and prospects for digitalization of the Russian coal industry. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(5):8—21. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-5-8-21>

Manuscript received 25 August 2023

Accepted 30 September 2023

Published 31 October 2023

* Corresponding author

Выполнен обзорный анализ текущего состояния использования в угольных компаниях России техники, технологий и современных инновационных разработок с цифровыми элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0». Для создания нового инновационного цифрового технологического базиса угольной промышленности предлагается сформировать и развивать пять групп ключевых технологических платформ. При этом предлагается перспективные возможности инновационного цифрового потенциала угольной промышленности реализовать в два этапа с осуществлением в итоге структурно-инновационной и цифровой трансформации угольной отрасли.

Технико-экономическое развитие человечества протекает в форме последовательной смены поколений (этапов, укладов, парадигм), каждое из которых характеризуется определенными первичными ресурсами, материалами, конечными продуктами, технологическими процессами, типом общественного потребления и др. Причиной прерывистого (ступенчатого) характера развития является сопряженность производственных процессов одной технологической совокупности.

На современном этапе развития выделяются шесть технологических укладов. Каждый

из укладов в своем развитии проходил различные стадии эволюции, отличающиеся мерой его влияния на общий экономический рост в стране. Устаревшие уклады, теряя свое решающее влияние на темпы роста, оставляли в составе национального богатства страны созданные производственные, инфраструктурные объекты, культурное наследие, знания и т.п. [1].

Взаимосвязь технологических укладов с уровнем развития экономики можно определить следующим образом: первые четыре являются индустриальными, а пятый и шестой — постиндустриальными технологическими укладами.

Смена технологических укладов с последующим резким скачком производительности и ростом экономики приводила к промышленным (индустриальным) революциям. Опосредовано со сменой технологических укладов, сменяются и циклы развития науки. При этом эволюции мировых промышленных революций соответствуют и присутствующие им мировые энергетические ступени развития [2, 3].

Начавшаяся в конце XX века автоматизация промышленности, несмотря на активное внедрение информационных технологий (или информационно-коммуникационных технологий — ИТ), электроники и промышленной робототехники

в производственные процессы, носила преимущественно локальный характер, когда каждое предприятие или подразделения внутри одного предприятия использовали собственную систему управления (или их сочетание), которые были несовместимы с другими системами.

Развитие Интернета, ИТ, устойчивых каналов связи, облачных технологий и цифровых платформ, а также информационный «взрыв», вырвавшийся из разных каналов данных, обеспечили появление открытых информационных систем и глобальных промышленных сетей (выходящих за границы отдельного предприятия и взаимодействующих между собой), которые оказывают преобразующее воздействие на все сектора современной экономики и бизнеса за пределами самого сектора ИТ и переводят промышленную автоматизацию на новую, четвертую ступень индустриализации.

Переход к 4-й промышленной революции связан с развитием инновационных технологий, в основе которых лежат концепция промышлен-

ной стратегии «Индустрия 4.0» и соответствующие цифровые технологии.

На рисунке 1 представлена возможная систематизация основных элементов промышленной стратегии «Индустрия 4.0» по базовым процессам горного производства [2, 3].

В настоящее время в угольной промышленности наиболее широко цифровизацией охвачены традиционные сферы оперативно-диспетчерского управления, бухгалтерского учета, финансовой, договорной, снабженческой деятельности, документооборота, профессионального образования и переподготовки.

Ведущие российские угольные компании продолжают активное внедрение цифровых технологий для автоматизации большинства производственных процессов с целью повышения производительности труда, снижения аварийности и травматизма, повышения конкурентоспособности своей угольной продукции.

Инновационные разработки роботизированных систем добычи и переработки полезных

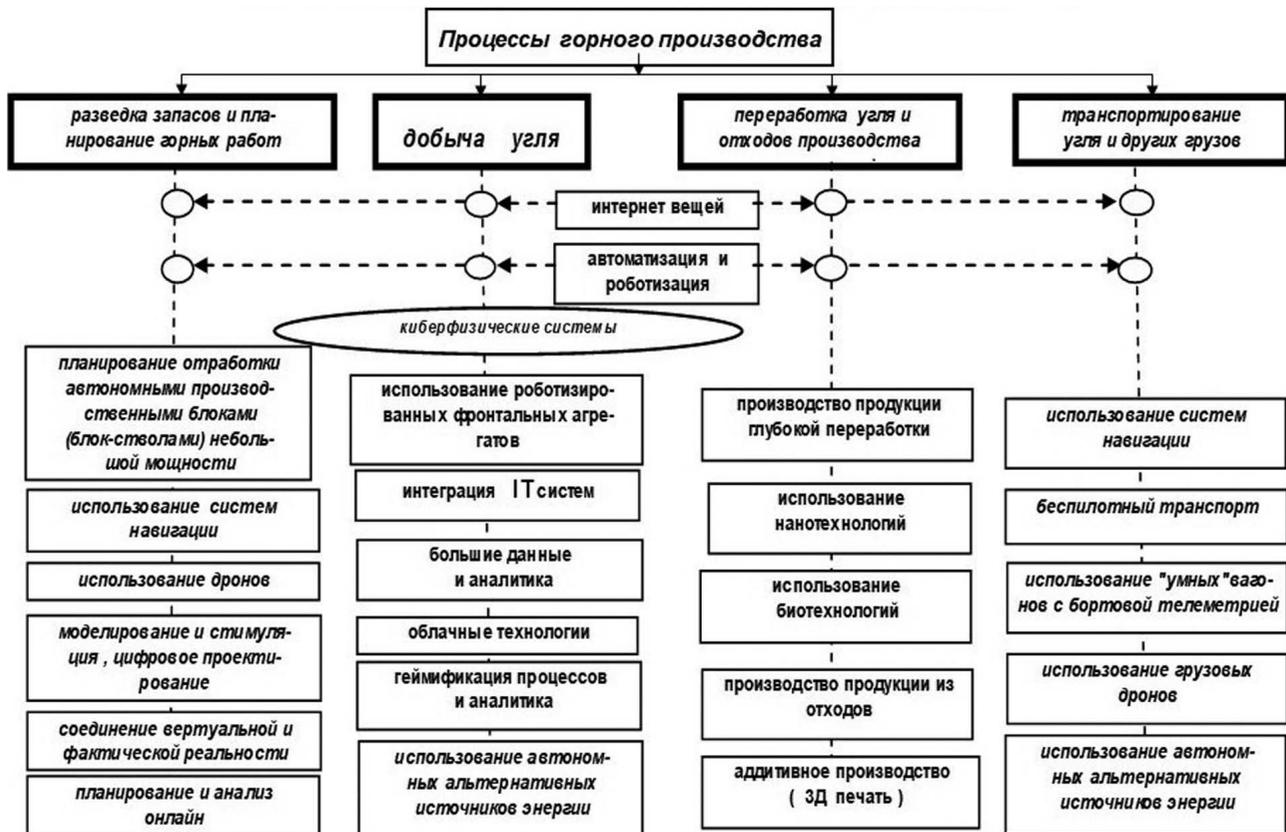


Рис. 1. Систематизация основных элементов проекта «Индустрия 4.0» по базовым процессам горного производства [2, 3]

Fig. 1. Systematization of the main elements of the Industry 4.0 project on the basic processes of mining production [2, 3]

ископаемых уже в самое ближайшее время смогут принципиально изменить технико-технологические принципы функционирования горных предприятий и приблизить нас к созданию интеллектуального горного предприятия.

Информация по ряду внедренных на российских шахтах и разрезах инноваций с цифровыми технологиями и элементами «Индустрия 4.0» приведена в таблице 1.

В настоящее время в *подземном способе добычи угля* наблюдаются эволюционные процессы, связанные с совершенствованием существующих видов техники и технологий комплексно-механизированной выемки угля, принципы которой разработаны и выверены практикой десятилетия назад, включая:

- рациональное извлечение запасов угольных месторождений при создании эффективных и безопасных геотехнологий по отработке пластов угля;
- управление состоянием горного массива и технологий, обеспечивающих предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах;
- разработку технологий, обеспечивающих повышение эффективности вентиляции, дегазации угольных шахт, технологий и технических средств снижения пылевыведения и взрывозащиты, а также разработку и внедрение эффективных способов и средств подавления и локализации пылеметанно-воздушных смесей;
- разработку технологий добычи угля без постоянного присутствия людей в очистных и подготовительных забоях на базе современной комплексной механизации и автоматизации.

За последние десять лет удельный вес объемов добычи угля подземным способом снизился с 30 до 23,2% от общей добычи по отрасли, но, несмотря на технологическую сложность и опасность подземных горных работ, они продолжают играть важную роль при условии обеспечения промышленной безопасности, так как значительная часть наиболее ценных коксующихся углей может быть отработана только на шахтах.

Инновационные разработки в подземной угледобыче с цифровыми технологиями:

- технологии динамического 3D-моделирования — от уточнения запасов на лицензионных участках, проектирования шахты до полной рекультивации после завершения горных работ;
- технологии геоинформационного обеспечения, сейсмического мониторинга и системы автоматического управления на горных предприятиях, включая информационно-измерительные системы

обеспечения шахтной безопасности (внедрены на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», ХК «СДС-уголь», «Евраз Груп»);

- технологии мониторинга и управления любуым технологическим процессом и оборудованием в шахте на основе единых информационно-управляющих систем (комплексы «Умная шахта»);
- автоматизация и роботизация проведения горных выработок на основе создания нового класса горнопроходческих машин — геоходов (создан и испытан опытный образец в ОАО «КОРМЗ», г. Кемерово);
- автоматизация и роботизация выемки угля роботизированными комплексами — наибольшее развитие работы по шахтной робототехнике получили в Великобритании, Японии, США, Германии, Чехии. В августе 2015 года впервые в России на шахте «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» была введена новая лава № 1767 по пласту Бреевский вынимаемой мощностью 1,6 м, в которой применена технология, позволяющая вести безлюдную выемку угля [3].

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать следующие основные выводы в отношении цифровизации подземных горных работ.

Большинство применяемых в настоящее время в России программно-аппаратных комплексов 3D-моделирования участков месторождений и прогнозирования результатов производственной деятельности являются зарубежными разработками или созданы в партнерстве с зарубежными фирмами. Появились российские разработки, предназначенные для решения достаточно узкого круга задач, имеющие ограниченное применение. Наиболее широкое распространение получили системы промышленной безопасности, в которых интегрированы разработки российских и зарубежных фирм. Следует отметить, что на шахтах и разрезах угольных компаний внедрены системы безопасности нескольких разработчиков.

В части инновационных техники и технологий имеются научные разработки российских и советских ученых, патенты, результаты лабораторных испытаний, опытные образцы, однако отсутствует информация о результатах испытаний опытных образцов или начале промышленного производства.

Появился практический опыт безлюдной выемки угля при подземном способе добычи с использованием добычного комплекса и аппаратуры автоматизации импортного производства.

В *открытом способе добычи угля* практически достигнут предел роста единичной мощности выемочно-погрузочного оборудования, связанный

Таблица 1. Примеры инновационных разработок с цифровыми технологиями и элементами «Индустрия 4.0» в подземной и открытой добыче угля

Table 1. Examples of innovative developments with digital technologies and elements of «Industry 4.0» in underground and open-pit coal mining

Наименование инновационной технологии, разработчик	Краткое описание принципа действия технологии и конструкции оборудования	Стадия внедрения в России
ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ		
<i>Технологии динамического 3D-моделирования — от подсчета запасов на лицензионном участке и проектирования шахты до ликвидации горных выработок после завершения отработки запасов</i>		
ГЕОМИКС (Россия) Создание 3D-модели месторождения и подсчет объемов горных работ при календарном планировании с использованием программного обеспечения AutoCadCivil 3D	Создание 3D-модели угольного пласта производится посредством инструментов моделирования AutoCadCivil 3D: на основании линии, оконтуривающей область одного марочного состава в одном подсчетном блоке, было создано 3D-тело, от которого плоскостями, сориентированными под характерным углом залегания по падению, отсечена часть тела толщиной, соответствующей мощности подсчетного блока.	«Доломит», Холдинг «Евроцемент групп», МГГУ, РУДН, МГОУ (г. Москва), БелГУ, БГУ (Минск) угольный разрез «Богатырь» (Казахстан), ОАО «Качканарский ГОК», ОАО «КМАРуда»
<i>Технологии сейсмического мониторинга</i>		
САКСМ автоматизированная система акустического контроля состояния массива горных пород, ООО «МНТЛ РИВАС», Москва, в партнерстве с Devis Derby Ltd. (Великобритания)	Программно-аппаратный комплекс, осуществляющий: мониторинг в реальном времени призабойной части горного массива; прогноз гео- и газодинамических явлений; контроль безопасности и оценки эффективности мер их предотвращения; контроль технологических процессов при выемке угля; контроль режима сотрясательного взрывания, прогноз геологических нарушений впереди движущегося забоя	Освоено серийное производство оборудования в искробезопасном исполнении, проведена обязательная сертификация
<i>Применение инновационных методов сбора, обработки и визуализации информации в системах шахтной безопасности</i>		
Искробезопасная система сейсмического мониторинга GITS (АО «ВНИМИ», СПб) Программный комплекс «Вентиляция»	Программно-аппаратный комплекс, может использоваться как составная часть комплексной системы безопасности Моделирование опасных ситуаций в шахте, расчет маршрута движения людей на поверхность и передача этой информации в систему позиционирования, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией (систему «Гранч»). В результате индивидуальный светильник работника, находящегося в шахте, начинает выполнять роль навигатора в условиях плохой видимости и голосовыми командами сообщает о том, в каком направлении необходимо идти и когда необходимо свернуть в другую выработку	Шахты АО «СУЭК», Евраз групп В июле 2018 г. на соревнованиях вспомогательных горноспасательных команд (ВГК) СУЭК была развернута система Granch SBGPS с обеспечением возможности связи с отделением ВГК при помощи оборудования Granch-фон с обеспечением визуального сопровождения видеокамерами, в том числе в инфракрасном диапазоне. Впервые движение команд было организовано с использованием системы подземной навигации Granch SBGPS — ГОРНАСС, интегрированной с программным комплексом «Вентиляция». Система Granch SBGPS была развернута с помощью как стационарного, так и переносного оборудования

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ / GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

Продолжение таблицы 1

Наименование инновационной технологии, разработчик	Краткое описание принципа действия технологии и конструкции оборудования	Стадия внедрения в России
SBGPS (Гранч) — система наблюдения, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией	Система позиционирования персонала в шахте «Гранч» строит свою подземную инфраструктуру связи на основе беспроводных технологий, в шахте организована зона покрытия Wi-Fi	Внедрен и развивается с 2010 года в АО «СУЭК-Кузбасс»
Система ГОРНАСС «Умная шахта» (ООО НПФ «Гранч», Новосибирск)	Granch МИС — многофункциональная измерительная система аэрогазового контроля, передачи информации и управления оборудованием, предназначенная для решения любых задач автоматизации в шахте. На базе МИС созданы и успешно функционируют системы аэрогазового контроля, автоматизированного управления конвейерным транспортом, автоматизированного управления шахтным водоотливом, управления энергоснабжением и др.; SBGPS (Гранч); Granch SBAVS — система громкоговорящей связи	С 2009 года на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», ряд шахт ХК «СДС-уголь» и др.
Использование мобильных робототехнических летательных аппаратов при выполнении оперативного плана ликвидации аварии на шахтах	Выполнение разведки после аварии на шахте. Временное восстановление разрушенной структуры радиосвязи за счет разбрасывания радиодатчиков через каждые 100—200 м пути	Ким М.Л., Родичев А.С. АО «СУЭК»; Певзнер Л.Д. проф. МИРЭА; Платонов А.К. проф. Ин-та прикл. математики РАН
Внедрение систем «СУБР», «РАДИУС», «НАЛНАХ», «FLEXCOM», «Mine Scada» ЗАО ПО «Электроприбор»	В данных изделиях использован современный принцип измерения концентрации метана и углекислого газа при помощи оптических сенсоров, имеющих высокую стабильность	Используются в многофункциональных системах безопасности шахт и рудников
Технологии больших данных — получение и обработка разрозненных данных для получения удобной для восприятия информации и ее анализа		
Создание Единых Диспетчерско-Аналитических Центров (ЕДАЦ)	Основные функции ЕДАЦ компании: - получение данных от различных технологических и производственных систем; - проведение обработки и анализа данных; - визуализация данных и предоставление автоматических отчетов	Внедрен и развивается с 2014 года в АО «СУЭК-Кузбасс»
Автоматизация и роботизация выемки угля и проведения горных выработок		
Технология проведения подготовительных горных выработок роботом «Геоход»	Геоход представляет собой винтоповоротный проходческий агрегат (ВПА), отличительной особенностью которого является ввинчивание корпуса машины в массив горных пород. При таком принципе взаимодействия используется приконтурный массив горных пород для восприятия реактивных сил от технологических операций и создания напорного и тягового усилий, т.е. вовлекается окружающая геосреда. Для этого в ВПА введена дополнительная технологическая операция — формирование законтурных каналов, что позволяет им вести проходку при любых углах наклона выработки	Разработка и изготовление опытного образца геохода диаметром 3,2 м осуществлены на предприятии ОАО «КОРМЗ» (г. Кемерово). В 2016 г. были проведены испытания опытного образца, который был признан конкурентоспособной продукцией. Промышленное производство предполагалось начать в 2018 году
Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН (г. Кемерово) и НИ ТПУ (г. Томск)		

Продолжение таблицы 1

Наименование инновационной технологии, разработчик	Краткое описание принципа действия технологии и конструкции оборудования	Стадия внедрения в России
Технология безлюдной выемки угля на шахте «Полысаевская» АО «СУЭК-Кузбасс»	В основу системы безлюдной выемки угля легла совместная разработка специалистов ОАО «СУЭК-Кузбасс», MARCO (Германия) и EICKHOFF (Германия). Среднемесячная добыча из лавы 300 тыс. т угля. Контроль и управление забойным оборудованием осуществляется оператором из соседнего штрека. Это возможно благодаря использованию датчиков, установленных на комбайне SL-300, силовой гидравлике секций крепи, а также специальных видеокамер, в том числе работающих в инфракрасном диапазоне	Внедрена на шахте «Полысаевская» в августе 2015 г. в лаве № 1767 по пласту Бреевский вынимаемой мощностью 1,6 м.
ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ		
<i>Технологии динамического 3D-моделирования — от процесса проектирования разреза до полной рекультивации после завершения горных работ</i>		
Технологии геоинформационного обеспечения (ГЕОМИКС, Россия)	Ориентирована на открытую и подземную разработку (см. выше) твердых полезных ископаемых любых геолого-промышленных типов; позволяет создавать горно-геологические модели месторождений, вести подсчет запасов минерального сырья, автоматизировать процессы геолого-маркшейдерского обеспечения и планирования добычи, проектирования буровзрывных работ, осуществлять полный документооборот в горном производстве	
Технологии сейсмического мониторинга (САКСМ)	См. выше	
Применение комплекса оборудования и специального программного обеспечения для проектирования БВР	Проектирование взрывных работ в формате 3D; 3D-моделирование карьерного поля	Внедрено во многих проектных организациях отрасли
<i>Роботизация технологического процесса открытой угледобычи</i>		
Роботизированный технологический транспорт на открытых горных работах	БелАЗы оснащены интеллектуальным оборудованием на заводе, инфраструктуру в пилотных регионах обеспечивало ООО «ВИСТ Групп»	Японская Komatsu в 2016 году представила свой роботизированный карьерный самосвал. По аналогии БелАЗ совместно с ООО «ВИСТ Групп» изготовил и внедрил в Кузбассе (СДС-уголь, р. Первомайский) и в Хакасии (СУЭК, р. Черногорский) в 2018—2019 гг. пять пилотных 130-тонных роботизированных самосвалов
БелАЗ в содружестве с ООО «ВИСТ Групп» произвел обкатку роботизированных автосамосвалов		
<i>Система управления горнотранспортными комплексами</i>		
«КАРЬЕР» (ООО «ВИСТ Групп»)	Решаемые задачи: • оптимальное распределение самосвалов по экскаваторам и пунктам разгрузки с учетом планируемого качества и объемов на складах, учета очередей и простоев, • увеличение объемов добычи текущим количеством техники, • снижение расходов на ремонт и эксплуатацию техники, • снижение влияния человеческого фактора на производительность работы горно-транспортного комплекса	АО «СУЭК», разрезы «Заречный» (АО «СУЭК — Кузбасс») и АО «Тугнуйский разрез»

Источники: составлено авторами на основе анализа информации из открытых источников [4—9].

Sources: compiled by the authors based on the analysis of information from open sources [4—9].

как с возможностями машиностроения, так и технологическими особенностями вскрышных, добычных и транспортных работ. Принципиально новая техника для открытых работ, например кранлайны, комбайны послойного фрезерования, комплексы глубокой разработки пластов — не нашли широкого применения.

Инновационные разработки в открытой угледобыче с цифровыми технологиями:

- технологии динамического 3D-моделирования — от процесса проектирования горного предприятия до полной рекультивации после завершения горных работ;

- ИТ с применением спутниковых навигационных систем диспетчеризации технологического транспорта разреза, мониторинга деформации карьерных выработок, техногенных и природных откосов и насыпей;

- технологии промышленной электроники (системы дистанционного управления оборудованием на разрезах, промышленный видеоконтроль и пр.);

- технологии полной информатизации и автоматизации основных производственных процессов (комплексы «Умный разрез», «Интеллектуальный карьер»), основанные на единой информационно-управляющей инфраструктуре, предназначенной для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием на разрезе при вскрышных и добычных работах (компания «Rio Tinto» эксплуатирует с 2009 года два полностью автоматизированных карьера в Австралии, в Канаде компания «Alberta Mining Corporation» создала восемь автоматизированных горных производств [3]).

Крупнейшим отечественным поставщиком систем автоматизации и информатизации открытых горных работ в России является резидент Сколково компания «Вист Майнинг Технолоджи». Горно-металлургическими компаниями России и СНГ (СДС, СУЭК, УГМК, МЕЧЕЛ, МЕТАЛЛОИНВЕСТ, СМР, ММК, НЛМК, ПОЛЮС, Полиметалл, ДГК, ЕВРАЗ, РУСАЛ, АРСЕЛОР, МЕТИНВЕСТ, ENRC, ЭРДЭНЭТ и др.) в настоящее время с успехом применяются системы диспетчеризации «КАРЬЕР» и бортовые программно-аппаратные комплексы, состоящие из большого количества функциональных подсистем с использованием навигационных технологий «ГЛОНАСС/GPS» [3].

Анализ данных таблицы 1 позволяет сделать следующие основные выводы в отношении цифровизации открытых горных работ.

Открытые работы находятся в несколько лучшем положении в части применения цифровых

инноваций по сравнению с подземными работами. Так, накоплен практический опыт в эксплуатации системы управления горнотранспортными комплексами «Карьер» ООО «ВИСТ Групп» в АО «СУЭК» и ХК «СДС-уголь», идет продвижение в направлении реализации роботизации по проекту «Интеллектуальный карьер» (по экспертной оценке, соответствует уровню «Индустрия 4.0»).

В части роботизированных автосамосвалов в России ближе всего к цели ООО «ВИСТ Групп» КАМАЗ, который построил опытный образец. Планируется обкатка на разрезах АО «СУЭК» и холдинга «СДС-уголь» пяти роботизированных 130-тонных самосвалов БелАЗ под управлением разработанного программно-аппаратного комплекса «Интеллектуальный карьер».

При этом нельзя не отметить, что наиболее современное, надежное и производительное оборудование на российских разрезах пока импортное и количество его растет вместе с ростом объемов добычи угля открытым способом.

В *обогащении угля* продолжается развитие модульного подхода к проектированию и строительству ОФ, переход на замкнутые водно-шламовые системы и увеличение глубины обогащения до нуля. Современные обогатительные фабрики — высокомеханизированные и автоматизированные предприятия. Автоматизации в обязательном порядке подлежат обеспечение сигнализации и контроля, блокировки и защиты, регулирование и управление конкретными технологическими процессами и обогатительной фабрики в целом.

В *глубокой переработке угля* проблема заключается не в научно-технологическом обеспечении, а в экономической целесообразности ее решения в России в условиях жесткой конкуренции с нефтью и природным газом в обозримом будущем. Поэтому в ближайшей перспективе следует ожидать только малотоннажного производства продуктов углехимии: синтетического жидкого моторного топлива, синтез-газа и др.

Проведенный обзорный анализ текущего состояния российских угольных компаний в части используемой техники, технологий и современных инновационных разработок, внедряемых в угольной промышленности России и мира с элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0», направленных на повышение эффективности угольного бизнеса, выявил основные направления, которые могут быть положены в основу формирования инновационных технологических платформ и стратегических направлений технологического развития отрасли [10—12].

Для создания нового инновационного технологического базиса угольной промышленности предлагается сформировать и развивать *пять групп ключевых технологических платформ*, представляющих в целом новую парадигму инновационной деятельности в угольной промышленности (табл. 2).

Основные задачи новых инновационных технологических платформ угольной промышленности России:

- формирование стратегического видения реализации промышленной стратегии «Индустрия 4.0»;
- определение основных требований и функциональных свойств отечественной угольной промышленности на базе стратегии «Индустрия 4.0» и принципов их осуществления;
- определение основных технологических направлений по основным секторам (процессам) технологического развития угольной отрасли:

Таблица 2. Перспективные технологии и направления инновационных технологических платформ угольной промышленности с внедрением цифровых технологий и элементов «Индустрия 4.0»

Table 2. Promising technologies and directions of innovative technological platforms of the coal industry with the introduction of digital technologies and elements of “Industry 4.0”

Перспективные технологии и направления с элементами «Индустрии 4.0»	Краткая характеристика технологий и направлений
1. ТП «Поисковые и разведочные работы»	
Совершенствование геоинформационных систем (ГИС) при геолого-разведке	Цифровая интернет-интерпретация пространственно-временных данных о представленных в ГИС объектах; 3D-моделирование геологической среды при разведке месторождений
Технологии дистанционного зондирования земли	Применение комплексов спутниковой геодезии и лазерного сканирования, использование систем навигации и дронов
Технологии виртуализации поисковых и разведочных работ	Создание среды для интерактивного проектирования скважин, оперативного управления геологическими изысканиями и геофизического анализа
2. ТП «Технологии подземных горных работ»	
Технологии проведения горных выработок и формирования подземного пространства	Автоматизация и роботизация проведения горных выработок на основе создания нового класса горнопроходческих машин — геоходов
Технологии выемки угля без присутствия людей в очистном забое	Автоматизация и роботизация комплексно-механизированных забоев на основе создания комплексов нового поколения — механизированная крепь с выемочным манипулятором с программным управлением
Технологии геоинформационного обеспечения	Технологии геоинформационного обеспечения и системы автоматического управления на горных предприятиях, учитывающих горнотехнические особенности российских месторождений и российские стандарты; цифровое моделирование геомеханических процессов при разработке месторождений
Интернет вещей при подземном способе добычи угля	Комплексы «Умная шахта» — единые информационно-управляющие инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием в шахте, обеспечения связи и сигнализации, наблюдения, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией
Развитие геотехнологий безлюдной добычи угля	Скважинная добыча угля, переведенного в жидкое или газообразное состояние при подземной газификации, с выдачей его в виде гидросмеси или газа на поверхность
3. ТП «Технологии открытых горных работ»	
Интернет вещей при открытой добыче угля	Комплексы «Умный разрез» или «Интеллектуальный карьер» — единые информационно-управляющие инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием на разрезе при вскрышных и добычных работах

Продолжение таблицы 2

Перспективные технологии и направления с элементами «Индустрии 4.0»	Краткая характеристика технологий и направлений
4. ТП «Технологии переработки угля и отходов производства»	
Интернет вещей при обогащении, переработке угля и отходов производства	Комплексы «Саморегулируемая (умная) фабрика» — сфокусированы на создании умных процессов, продуктов, оборудования, а также должны вовлекать людей работать в среде IT-системы. Все компоненты (люди, машины, продукты и объекты) благодаря встроенным датчикам должны коммуницировать друг с другом так же естественно, как и в социальной сети, без вмешательства человека
Технологии углехимии с получением продуктов с высокой добавленной стоимостью	Пиролиз (коксование) углей — получение кокса, полукокса, каменноугольных пеков, гуминовых кислот, нафталина, антрацена, фенантрена, бензола, каменноугольных масел, аммиака, фенола, крезола, пиридиновых оснований, коксового газа. Технология «термококс» — производство обогороженного твердого топлива методом термического обогащения угля. Непрямая гидрогенизация углей — получение жидких продуктов (бензина, дизельного топлива, смазочных масел, парафинов, фенолов) из смол газификации или пиролиза углей. Прямая гидрогенизация углей — прямая деструктивная гидрогенизация под давлением (с катализатором или без) с получением моторного топлива и сырья для органического синтеза
Использование нанотехнологий и биотехнологий	Развитие инновационных конкурентных направлений технологического использования углей: нанопористых сорбентов, углеродных молекулярных сит для разделения газов и др.
5. ТП «Технологии транспортировки горной массы»	
Интернет вещей при транспортировке угля потребителям	Комплексы «Интеллектуальный транспорт и центры управления» — единые информационно-управляющие логистические инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и цифрового управления транспортом (автомобильным, железнодорожным, морским) при транспортировке угля потребителям
Автоматические транспортные средства	Использование технологических автомобилей-беспилотников при транспортировке вскрыши и угля на разрезах; применение грузовых беспилотных летательных аппаратов (дронов, дирижаблей нового поколения) при транспортировке угля на дальние расстояния из труднодоступных районов

поисковые и разведочные работы; подземная и открытая добыча угля; обогащение, переработка угля и отходов производства; транспортировка угля;

- определение основных компонентов, технологий, информационных и управленческих решений во всех вышеуказанных процессах;
- диверсификация деятельности угледобывающих компаний при создании продуктов с высокой добавленной стоимостью за счет реализации направлений действующей технологической платформы «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» и новой инновационной платформы «Технологии обогащения, переработки угля и отходов производства»;

- преодоление технологического разрыва и импортозависимости путем реализации поэтапного импортозамещения и инновационного развития российской угольной промышленности и отечественного горного машиностроения.

Заключение

Таким образом, речь может идти о необходимости реализации новой парадигмы развития угольной промышленности России на базе инновационных технологических платформ с элементами «Индустрии 4.0» и реализации государственной политики импортозамещения. При этом необходимо создать на принципах государственно-частного партнерства единую сеть научно-образовательных

центров для разработки и доведения до промышленного использования прорывных инновационных технологий в угольной промышленности, а также подготовки высококвалифицированных кадров.

При этом возможности инновационного цифрового потенциала угольной промышленности могут быть реализованы в два этапа.

На 1-м этапе шахты (разрезы) и обогатительные фабрики со средними технико-экономическими показателями (стабильная группа) поднимают свой уровень до уровня передовых по технико-экономическим показателям отечественных предприятий по добыче и обогащению угля (перспективная группа), а уровень передовых по технико-экономическим показателям шахт (разрезов) и обогатительных фабрик повышается в соответствии с мировыми трендами технико-технологического развития угольной промышленности.

На 2-м этапе на всех шахтах (разрезах) и обогатительных фабриках осуществляется структурно-инновационная и цифровая трансформация для перехода на высокий технологический и технический уровень в соответствии с основными

направлениями мирового инновационного процесса.

Таким образом, анализ технологических трендов в мире показывает, что даже в такой традиционной отрасли, как угольная промышленность, происходит активная технологическая модернизация и связанные с этим структурные изменения. Начало таких изменений положено и в российской угольной промышленности с переводом в цифровую форму процессов проектирования технологических систем, контроля их состояния и управления ими — трансформационный переход к цифровой экономике означает повышение скорости, наблюдаемости, точности и управляемости всеми производственно-технологическими процессами добычи и переработки угля.

Результаты исследования позволяют эффективно использовать при создании на принципах государственно-частного партнерства единой сети научно-образовательных центров для разработки и доведения до промышленного использования прорывных инновационных технологий в угольной, горной и геолого-разведочной отраслях промышленности, а также при подготовке высококвалифицированных кадров на базе МГРИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артемьев В.Б., Захаров В.Н., Галкин В.А., Федоров А.В., Макаров А.М.* Стратегия, тактика и практика инновационного развития открытых горных работ // Уголь. 2017. № 12. С. 6—19.
2. *Грабский А.А., Рожков А.А.* Системные проблемы и стратегические направления технологического развития угольной промышленности России // Матлы науч.-практич. конф. «Современное состояние и направления развития технологий, машинного и аппаратного обеспечения, эколого-безопасного природопользования и переработки промышленных отходов горнопромышленных комплексов на территории Евразийского экономического пространства» 5–6 сентября 2019 г. Минск — Солигорск, Республика Беларусь. С. 29—33.
3. ЕВРАЗ внедрил на шахте «Ерунаковская-VIII» инновационную технологию дегазации угольных пластов / Интернет-портал сообщества ТЭК. [Электронный ресурс]: <http://energyland.info/news-show-tek-ugol-163294/> (дата обращения: 15.08.20123).
4. *Ефременков А.Б.* Разработка научных основ создания геохода: дисс. ... докт. техн. наук. Юрга: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2016. 314 с.
5. Официальный сайт АО «СУЭК» [Электронный ресурс]: <http://www.suek.ru/> (дата обращения: 15.08.20123).
6. Официальный сайт Компании «ВИСТ Групп» (внедрение информационных систем и технологий). [Электронный ресурс]: <http://www.vistgroup.ru/> (дата обращения: 15.08.20123).
7. *Панов Ю.П.* Программа развития МГРИ на 2023—2027 гг. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 64(2). С. 8—17.
8. *Плакицкий Ю.А., Плакицкина Л.С.* Мировой инновационный проект «Индустрия 4.0» — возможности применения в угольной отрасли России // Уголь. 2017. № 10. С. 44—51.
9. *Плакицкина Л.С., Плакицкий Ю.А.* Угольная промышленность мира и России: анализ, тенденции и перспективы развития: монография. М.: ЛИТТЕРРА, 2017. 373 с.
10. Разработка научно обоснованных направлений структурно-инновационной трансформации угольной промышленности России: Отчет НИР. М.: АО «Росинформуголь», 2018. 1117 с.
11. Разработка научно обоснованных предложений по приоритетным направлениям инновационного развития угольной промышленности России. Отчет НИР. М.: ФГБОУ ВПО МГГУ, 2013. 176 с.
12. Разработка научно обоснованных предложений по стратегическим направлениям технологического развития и импортозамещения в угольной промышленности. Отчет НИР. М.: АО «Росинформуголь», 2017. 421 с.

13. Соловенко И.С., Рожков А.А., Лизунков В.Г., Малушко Е.Ю. Цифровизация предприятий угольной

промышленности России: к постановке проблемы // Вопросы истории. 2022. № 5(2). С. 152—165.

REFERENCES

1. Artemiev V.B., Zakharov V.N., Galkin V.A., Fedorov A.V., Makarov A.M. Surface mining innovative development strategy, tactics and practice // Ugol'. 2017. № 12. pp. 6—19. (In Russian).
2. Grabskiy A.A., Rozhkov A.A. Sistemnye problemy i strategicheskie napravleniya tehnologicheskogo razvitiya ugol'noj promyshlennosti Rossii [Systemic problems and strategic directions of technological development of the Russian coal industry] // Mat-ly nauch.-praktich. konf. «Sovremennoe sostojanie i napravleniya razvitiya tehnologij, mashinnogo i apparatnogo obespechenija, jekologo-bezopasnogo prirodopol'zovanija i pererabotki promyshlennyh othodov gornopromyshlennyh kompleksov na territorii Evrazijskogo jekonomicheskogo prostranstva» [«The current state and directions of development of technologies, machinery and hardware, environmentally sound environmental management and processing of industrial waste from mining complexes on the territory of the Eurasian Economic Space»] 5—6 September 2019. Minsk — Soligorsk, The Republic of Belarus. pp. 29—33. (In Russian).
3. [EVRAZ has implemented an innovative technology of coal bed degassing at the Yerunakovskaya-VIII mine] / Internet portal of the Fuel and Energy Complex community. Available from: <http://energyland.info/news-show-tek-ugol-163294/> (last accessed 15.08.2023).
4. Efremenkov A.B. [Development of scientific foundations for the creation of a geohod: diss. ... dr. technical sciences]. Yurga: Federal State Educational Institution of Higher Education “National Research Tomsk Polytechnic University”. 2016. 314 p. (In Russian).
5. The official website of JSC “SUEK”. Available from: http://www.suek.ru/upload_shared/ru/pdf/ru/ (last accessed 15.08.2023).
6. The official website of «VIST Grupp» (vnedrenie informacionnyh sistem i tehnologij). Available from: <http://www.vistgroup.ru/> (last accessed 15.08.2023).
7. Panov Yu.P. Development Programme of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MRGI) for 2023—2027. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2022, № 2, pp. 8—17. (In Russian).
8. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. The industry-4.0 global innovation project's potential for the coal industry of Russia. 1. Industry-4.0 program — new approaches and solutions // Ugol'. 2017. № 10. P. 44—51. (In Russian).
9. Plakitkina L.S., Plakitkin Ju.A. Coal industry of the world and Russia: analysis, trends and prospects of development: monograph. Moscow: LITERRA, 2017. 373 p. (In Russian).
10. Development of scientifically based directions of structural and innovative transformation of the Russian coal industry: Research report. Moscow: JSC “Rosinformugol”, 2018. 1117 p. (In Russian).
11. Development of scientifically based proposals on priority areas of innovative development of the Russian coal industry. Research report. Moscow: FSBEI VPO MGSU, 2013, 176 p. (In Russian).
12. Development of scientifically sound proposals on strategic directions of technological development and import substitution in the coal industry. Research report. Moscow: JSC “Rosinformugol”, 2017. 421 p. (In Russian).
13. Solovenko I.S., Rozhkov A.A., Lizunkov V.G., Malushko E.Yu. Digitalization of coal industry enterprises in Russia: problem statement // History issues. 2022. № 5—2. — pp. 152—165. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Панов Ю.П. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Грабский А.А. — проанализировал рациональное извлечение запасов угольных месторождений при создании эффективных и безопасных геотехнологий машинного и аппаратного обеспечения основных компонентов, технологий, информационных и управленческих решений во всех процессах поисковых и разведочных работ подземной и открытой добычи угля.

Yuri P. Panov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Aleksandr A. Grabskiy — analyzed the rational extraction of coal deposits in the creation of efficient and safe geotechnologies for machine and hardware support of the main components, technologies, information and management solutions in all processes of prospecting and exploration of underground and open-pit coal mining.

Рожков А.А. — предложил пять типов перспективных инновационных технологических платформ угольной промышленности с внедрением цифровых технологий и элементов «Индустрия 4.0», подготовил табличный материал в статью.

Anatoly A. Rozhkov — proposed five types of promising innovative technological platforms for the coal industry with the introduction of digital technologies and elements of Industry 4.0, prepared tabular material for the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Панов Юрий Петрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ректор ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 2002
e-mail: rektor@mgri.ru
SPIN-код: 9249-9725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

Yuri P. Panov — Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher, Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia tel.: +7 (495) 255-15-10 (ext. 2002)
e-mail: rektor@mgri.ru
SPIN-code: 9249-9725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

Грабский Александр Адольфович* — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Горное дело» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия тел.: +7 (495) 255-15-10 (доб. 2127)
SPIN-код: 2196-7500
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0960-7124>

Alexander A. Grabsky* — Professor, Dr. of Sci. (Engineering), Head of the Mining Department Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia tel.: +7 (495) 255-15-10 (ext. 2127)
SPIN-code: 2196-7500
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0960-7124>

Рожков Анатолий Алексеевич — профессор, доктор экономических наук, начальник отдела аналитических исследований и краткосрочного прогнозирования развития угольной промышленности ФГБУ «Российское энергетическое агентство». 105, стр.1, пр-кт Мира, Москва 129085, Россия SPIN-код: 8890-5820
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4541-0922>

Anatoly A. Rozhkov — Professor, Dr. of Sci. (Econ.), Head of the Department of Analytical Research and Short-term Forecasting of the Development of the Coal Industry Russian Energy Agency. 105, bld. 1, Mira Ave., Moscow 129085, Russia SPIN-code: 8890-5820
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4541-0922>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author