

Цифровизация экономики угольной промышленности России – от «Индустрии-4.0» до «Общества 5.0»

Статья подготовлена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-010-00467 «Разработка экономических индикаторов и технологических параметров развития угольной отрасли России до 2035 г. в условиях смены вектора ми-рового инновационно-технологического процесса, обусловленной реализацией программы «Индустрия-4.0»

Ю.А. Плакиткин, д-р экон. наук, проф., академик РАЕН, Руководитель Центра инновационного развития отраслей энергетики ИНЭИ РАН

Л.С. Плакиткина, канд. техн. наук, член-корр. РАЕН Руководитель Центра исследования угольной промышленности мира и России ИНЭИ РАН

Введение

Реализуемая ныне во многих странах мира технологическая революция требует внедрения так называемой Программы «Индустрия-4.0» (Industry 4.0), которая охватывает всю промышленность, включая и угольную [1–4]. Цифровое моделирование, являющееся одним из базовых направлений реализации программы «Индустрия-4.0», будет активно применяться в производственных процессах, в т.ч. путем использования актуальных данных, получаемых с помощью виртуальной модели окружающего физического мира. Наибольший рывок в освоении цифровых технологий ожидается в электронной промышленности, машиностроении, автомобилестроении, компьютерных технологиях (IT-технологиях).

При реализации Программы «Цифровая экономика Российской Федерации» предусматриваются тесные взаимодействия государства, бизнеса и науки [5]. Координацию участия экспертного и бизнес-сообщества в планировании реализации, развития и оценке эффективности этой Программы осуществляет автономная некоммерческая организация АНО «Цифровая экономика».

В некоторых странах приступили к разработке и реализации концепции «Общества 5.0» – или «Суперинтеллектуального общества», которое подразумевает проникновение цифровых технологий буквально во все сферы нашей жизни [6–7]. В «Обществе 5.0» происходит слияние реального и виртуального. В нем физическое и киберпространство становятся единым целым для решений социальных проблем и создания устойчивого экономического роста. Огромные массивы информации (Big Data) отправляются в киберпространство, анализируются с помощью искусственного интеллекта (AI) и возвращаются обратно в физическое измерение в виде новых решений, в т.ч. с использованием дополненной реальности (AR). При этом требуется создание широкой технической инфраструктуры.

Эволюции промышленных революций

Проведенный анализ эволюции прошедших промышленных революций (Обществ) показал, что «Общество 1.0» и «Общество 2.0» связаны с развитием сельского хозяйства, созданием первых поселений в основном в сельских местностях, то есть с аграрным обществом. Третья ступень – «Общество 3.0» – это индустриальная революция, начало массового использования промышленного производства. Следующий этап – «Общество 4.0» – охватывает период все-

общей компьютеризации и развитие технологий, которые определили развитие промышленности и производственного сектора экономик развитых стран. В нем происходит оптимизация потребления ресурсов в среднем на одного человека.

«Общество 5.0» – ступень, следующая за информационным обществом, которая расширяет Программу «Индустрия-4.0» за пределы производственного сектора. Стратегия «Общества 5.0» – это суперинтеллектуальное общество, представляющее собой оптимизацию ресурсов потребления не одного человека (как в «Индустрии-4.0»), а всего социума. В процессе предполагается, что каждый будет вносить вклад по своим возможностям, а потреблять – в соответствии со своими нуждами [см. 6–7].

Программа «Индустрия-4.0» является частью «Общества 5.0», поэтому эти понятия неразделимы, но в рамках «Общества 5.0» мы имеем дело с киберфизическими технологиями. Разница между «Индустрией-4.0» и «Обществом 5.0» – в масштабе внедрения новейших технологий. В «Обществе 5.0» они охватывают все сферы жизни общества, а не только производство. Результатом технологической революции «Общества 5.0» является появление искусственного интеллекта. Повышенный спрос на него потребует от государственного регулятора существенных усилий (организационных и финансовых) по значительному росту уровня образования населения и глубины проводимых научных исследований.

Для Программы «Индустрия-4.0» характерно использование в промышленности возможностей так называемого «Интернета вещей» (IoT – Internet of Things) и применение в производственных процессах «киберфизических систем» (CPS – Cyber-Physical System). Программа «Индустрия-4.0» реализует следующие направления: промышленный Интернет вещей, дополненную реальность, большие данные (Big Data) и бизнес аналитику, «облачные технологии», автономные роботы, горизонтальную и вертикальную интеграцию систем, информационную безопасность, аддитивное производство (в т.ч. применение 3D-печати), цифровое моделирование [см. 1–5].

«Общество 5.0» включает в себя, кроме присущих Программе «Индустрия-4.0» выше перечисленных направлений, использование последних достижений IT-технологий – «Интернета всего» (IoE – Internet of Everything). Поэтому ключевые составляющие «Общества 5.0» – это «Big Data», «Internet of Things» (IoT) и «Internet of Everything» (IoE), благодаря которым разработчики Стратегии «Общества 5.0» не

ограничиваются только промышленностью, а планируют преобразовывать многие сферы общества и получать знания о будущем [см. 6–7].

Лидерами разработки и внедрения Программы «Индустрия-4.0» являются: Германия, США, Нидерланды, Великобритания, Южная Корея, Швеция. Во многих странах мира планируют реализовать Программу «Индустрия-4.0» в период до 2025 г. Лидер разработки концепции «Общества 5.0» – Япония, которая в 2020 г. намерена продемонстрировать работу новых технологий [см. 6–7].

Отставание России от стран-лидеров цифровизации, по мнению экспертов, составляла 5–8 лет. С целью уменьшения этого разрыва в России в 2017 г. была разработана и утверждена Правительством Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (распоряжение от 28 июля 2017 г. 1632-р) [см. 5]. В соответствии с планами Правительства Российской Федерации на внедрение мероприятий программы «Цифровая экономика Российской Федерации» потребуются порядка 522 млрд руб. [8].

Несмотря на то что в настоящее время доля цифровой экономики в ВВП России составляет всего около 4%, темпы роста ее объема существенно опережают темпы роста валового внутреннего продукта. Так, в период с 2011 по 2015 г. ВВП страны вырос на 7%, а объем цифровой экономики за тот же период увеличился на 59% (на 1,2 трлн руб. в ценах 2015 г.). Таким образом, с 2011 по 2015 г. цифровая экономика росла в 8,5 раза быстрее экономики России в целом и составила четверть (24%) общего прироста ВВП. По оценкам McKinsey, потенциальный экономический эффект от цифровизации экономики России может способствовать увеличению ВВП страны к 2025 г. на 4,1–8,9 трлн руб. (в ценах 2015 г.). Это составляет от 19 до 34% общего ожидаемого роста ВВП страны [9, 10].

У российских компаний имеется большой потенциал развития за счет внедрения технологий «Индустрии 4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации». В добывающих и обрабатывающих отраслях промышленности создается более 50% ВВП страны. Процесс цифровизации уже начался. Во многих отраслях промышленности России появляются примеры внедрения цифровых технологий промышленного производства. В нефтяной и газодобывающей промышленности используются инструменты трехмерного моделирования месторождений, а в горнодобывающих отраслях активно применяются датчики и портативные устройства, помогающие отслеживать состояние и местонахождение техники и рабочих, определять уровень загазованности шахт, оптимизировать работу ремонтных бригад. В атомной и авиационной промышленности эксплуатируются системы компьютерного проектирования и управления жизненным циклом продукции (*Product Lifecycle Management, PLM*).

Концепции «Общества 4.0» и «Общества 5.0» применимы в любом развитом обществе и способны обеспечить высокие социальные стандарты жизни, с одной стороны, и высокие темпы экономического роста – с другой. Так, компания «Mitsubishi Electric» активно участвует в создании и реализации концепции «Общества 5.0» не только в Японии, но и в других странах, на рынках которых занимает сильные позиции, в т.ч. и в России [см. 6–7].

Основные цели программы «Цифровая экономика Российской Федерации»

Целями Программы «Цифровая экономика Российской Федерации» являются:

- создание экосистемы цифровой экономики Российской

Федерации, в которой данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности и в которой обеспечено эффективное взаимодействие, включая трансграничное, бизнеса, научно-образовательного сообщества, государства и граждан;

- создание необходимых и достаточных условий институционального и инфраструктурного характера;
- повышение конкурентоспособности на глобальном рынке как отдельных отраслей экономики Российской Федерации, так и экономики в целом.

Моделью цифровой экономики являются рынки, технологии, базовые условия.

Основными «сквозными» цифровыми технологиями, которые входят в рамки утвержденной Программы «Цифровая экономика Российской Федерации», являются: «Большие данные», нейротехнологии, Искусственный интеллект, системы распределенного реестра (блокчейн), квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный Интернет вещей, робототехника и сенсорики, технологии беспроводной связи, технологии виртуальной и дополненной реальности. Предусмотрено, что в перечень Программы «Цифровая экономика Российской Федерации», кроме вышеперечисленных технологий, могут быть включены и другие, новые технологии, которые будут использоваться по мере их появления и развития.

Для реализации программы «Индустрия-4.0» необходимо провести так называемую «цифровую трансформацию», под которой подразумевается:

- кардинальное повышение производительности, конкурентоспособности и ценности предприятий или поставщиков услуг путем использования всего пула современных технологий (от скоростных сетей связи и инновационных IT-приложений до Big Data, 3D-печати и 3D-проектирования, цифровых двойников/моделей предприятий и продуктов, а также IoT и PoT);

- оцифровка этого сигнала/объекта, при помощи той или иной аппаратуры, т.е. перевод его в цифровой вид и их фундаментальный реинжиниринг, проводимые параллельно.

Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» подразумевает предоставление особого правового режима для компаний, работающих в этой сфере. Ожидается, что в соответствии Программой «Цифровая экономика» в РФ к 2024 г. должны эффективно работать: не менее 10 конкурентоспособных на мировом рынке высокотехнологичных компаний и столько же индустриальных цифровых платформ (включая цифровые медицинские учреждения, «умные города» и др.). При этом многие российские предприятия («Ростехнологии», «Газпром», «Росатом», «Роснефть», «Сбербанк» и др.) сами стараются внедрить основные положения Программ «Индустрии-4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» в хозяйственную практику. В сфере цифровых технологий ожидается ввод в эксплуатацию не менее 500 средних и малых предприятий. Высшие учебные заведения в период до 2024 г. должны выпустить не менее 120 тысяч специалистов в области информационных технологий (*IT технологий*) [см. 5].

Концепция программы «Индустрия-4.0» и соответствующие цифровые технологии

Программа «Индустрия-4.0» предусматривает сквозную цифровизацию всех физических активов и их интеграцию в цифровую экосистему вместе с партнерами, участвующими в цепочке создания стоимости. Согласно «Индустрии-4.0»



Рис. 1 Концепция программы «Индустрия-4.0» и соответствующие цифровые технологии

предусматривается цифровизация и интеграция процессов по вертикали в рамках всей организации, начиная от разработки продуктов и закупок и заканчивая производством, логистикой и обслуживанием. При этом все данные об операционных процессах, эффективности процессов, управлении качеством и операционном планировании доступны в режиме реального времени в интегральной сети. Используются также технологии дополненной реальности, а данные оптимизированы под различные платформы. Горизонтальная интеграция выходит за рамки внутренних операций и охватывает поставщиков, потребителей и всех ключевых партнеров по цепочке создания стоимости. В итоге используются различные технологии: от устройств слежения и контроля до комплексного планирования, интегрированного с исполнением в режиме реального времени.

Концепция программы «Индустрия-4.0» и соответствующие цифровые технологии представлены на рис. 1.

Основные технологические тренды в сфере реализации программы «Индустрия-4.0» и цифровой трансформации угольной промышленности России

Программа «Индустрия-4.0» и принятая программа «Цифровая экономика Российской Федерации» фактически могут служить отправными точками для будущих технологических прорывных новаций в угольной промышленности.

Анализ действующих в угольной отрасли технологических платформ позволяет сделать вывод о необходимости создания «Интеллектуальной платформы», учитывающей основные направления реализации проекта «Индустрия-4.0» и соответствующие цифровые технологии.

Формирование такой платформы в угольной промышленности должно базироваться на проведении НИОКР:

- по разработке производственных киберфизических систем;
- реализации «Интернета вещей» в производственных процессах предприятий отрасли.

В рамках «Интеллектуальной платформы» должно быть организовано создание и постоянное обновление банка инновационных разработок по технологиям, комплектующим производственные киберфизические системы в угольной промышленности.

В перспективном периоде в этот банк должны включать-

Таблица 1 Основные направления реализации «Индустрия-4.0» в угольной отрасли

Процессы горного производства	Перспективные технологии и направления
Разведка запасов месторождений угля	Технологии виртуализации поисковых и разведочных работ
	Технологии дистанционного зондирования земли
	Совершенствование геоинформационных систем на основе 3D моделирования геологической среды
Добыча угля и подготовка запасов	Автоматизация и роботизация проведения горных выработок и формирования подземного пространства
	Технологии выемки угля без присутствия людей (безлюдная выемка)
	Технологии геоинформационного обеспечения, основанного на цифровом моделировании механических процессов
	Развитие геотехнологий безлюдной добычи угля
	«Интернет вещей», охватывающий добычу угля и формирующий комплексы «Интеллектуальная шахта», «Интеллектуальный разрез»
Переработка угля и отходов	«Интернет вещей» при обогащении, переработке угля и отходов, формирующий комплекс «Интеллектуальная обогатительная фабрика»
	Технологии углехимии с получением продуктов с высокой добавленной стоимостью
	Использование нанотехнологий и биотехнологий
Транспорт	Применение автоматизированных транспортных средств
	«Интернет вещей», формирующий комплексы «Интеллектуальный транспорт и центры управления»

ся высокоэффективные технологии добычи угля с использованием гибких роботизированных систем 2-го и 3-го поколений с искусственным интеллектом. Новые технологии, позволяющие перейти к построению полностью автоматизированных предприятий, могут объединить малые производственные блоки, основанные на функционировании автономных киберфизических систем. Конечно, это потребует разработки новых пространственно-планировочных решений, адаптированных к реализации в угольной отрасли производственных процессов автономными киберфизическими системами.

В практическом плане технологическое обновление угольной промышленности должно сопровождаться разработкой и реализацией механизмов государственного содействия технологическому перевооружению предприятий на основе внедрения в практику «Интернета вещей» и киберфизических систем. Государственный регулятор также должен оказывать содействие в организации производства отечественного оборудования, используемого в производственных процессах угледобычи и осуществляемых автономными киберфизическими системами.

Перспективные технологии и направления, соответствующие реализации программы «Индустрия-4.0» в угольной промышленности, представлены в табл. 1.

Усовершенствованная систематизация технологических элементов для угольной промышленности, их характеристика и анализ возможной реализации предлагаемых технологических решений

Основываясь на применении в прогнозном периоде производственных киберфизических систем и других направлений технологического развития, обусловленных реализа-

цией проекта «Индустрия-4.0», в процессе исследований авторами усовершенствована систематизация технологических элементов для угольной промышленности (рис. 2), которая является более комплексной, чем предлагаемая авторами ранее [11].

Усовершенствованная систематизация охватывает следующие направления горного производства: разведка запасов и планирование горных работ, добыча угля, переработка угля и отходов производства и транспортирование угля и иных грузов.

При этом два главных элемента проекта «Индустрия-4.0» – «Интернет вещей», а также автоматизация и роботизация производственных процессов «прошивают» все процессы горного производства [см. 11].

Элементы систематизации составляют основу для формирования новых производственных единиц, таких как «Интеллектуальная шахта (разрез)», «Интеллектуальная фабрика», «Интеллектуальный транспорт».

Центральным элементом разработанной авторами систематизации основных элементов проекта «Индустрия-4.0» по базовым процессам горного производства являются использование киберфизических производственных систем в процессах добычи и подготовки запасов, а также его переработки и транспортирования угля. Функционирование этих систем основано на применении интеллектуальных роботизированных комплексов в автономных производственных блоках небольшой мощности. В частности, в блоках при подземной добыче угля могут быть использованы спроектированные и прошедшие промышленные испытания еще в 1980-х гг. так называемые фронтальные агрегаты, осуществляющие одномоментную обработку всей плоскости очистного забоя без постоянного присутствия людей. Это позволяет многократно

увеличить производительность добычи угля.

По замыслу академика РАН В.В. Ржевского (авторы исследований в то время активно участвовали в подготовке обосновывающих материалов), производственные блоки должны составлять технологическую систему, способную к «саморазвитию» [12]. Предполагалось, что отработка каждого блока должна давать возможность для финансового обеспечения подготовки и отработки последующего блока. При этом продолжительность отработки блоков должна быть небольшой – около 5–7 лет. Такая система дает возможность на каждом последующем блоке применять более совершенное оборудование и технологии, что позволяет в наибольшей степени использовать новейшие технико-технологические достижения. Для ускорения работ по вскрытию и подготовке запасов предполагалось, что проведение стволов будет осуществляться методом выбуривания.

Применение киберфизических систем, основанных на роботизации II и III поколений, предоставит возможность для широкого использования «безлюдных» технологий добычи угля, в т.ч. *скважинных*. Это создаст основу для расширения производственных объектов, работающих по принципу «Интеллектуальная шахта» или «Интеллектуальный разрез» и представляющих собой единые информационно-управляющие структуры, позволяющие осуществлять мониторинг и управление любым технологическим оборудованием на шахте (разрезе) при осуществлении горно-подготовительных и добычных работ.

Новые технологии предъявляют иные требования к пространственному планированию горных работ, которые, в свою очередь, также должны претерпеть трансформацию: прямолинейная геометрия раскройки шахтных полей будет заменяться криволинейной.

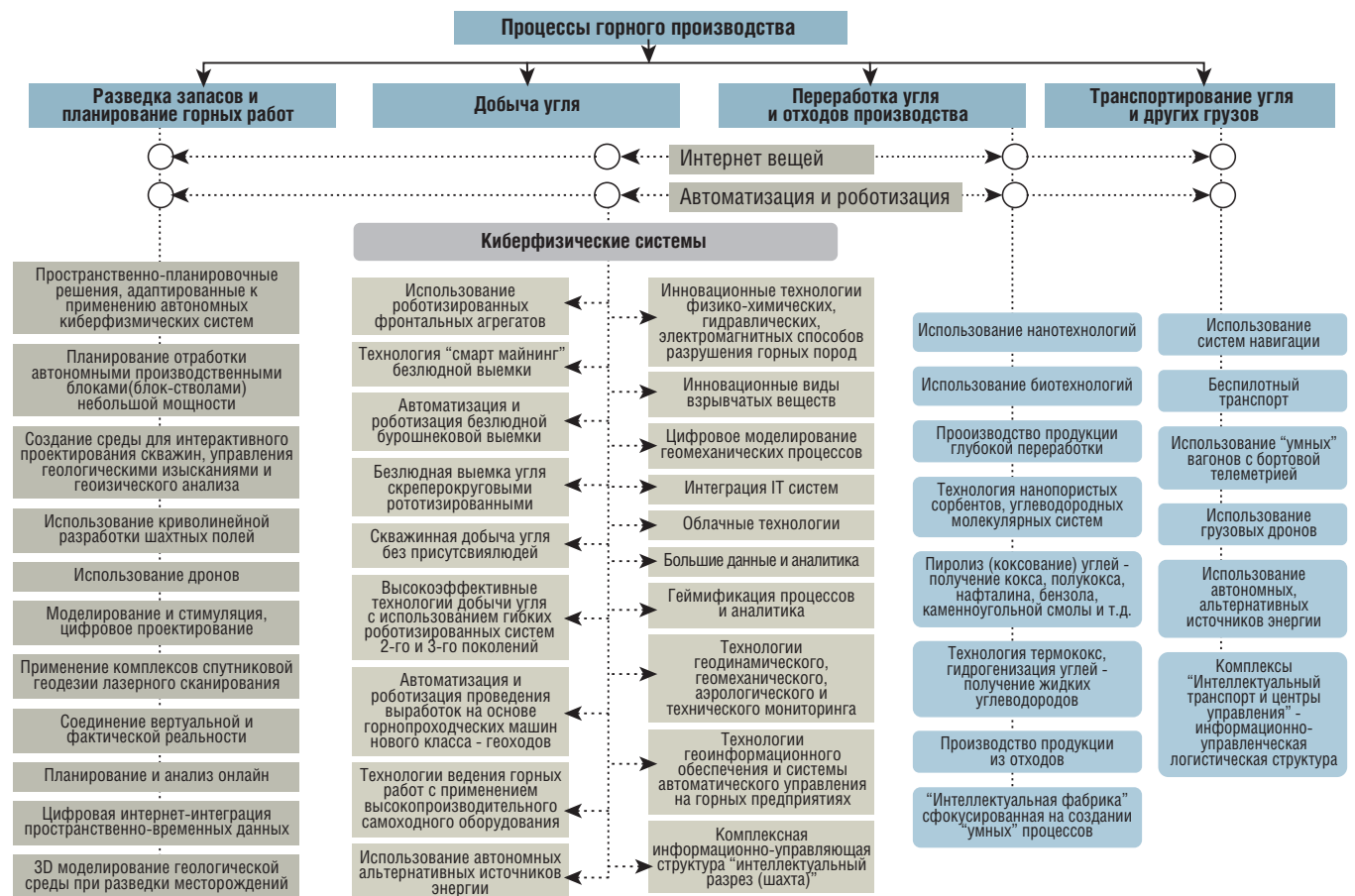


Рис. 2 Усовершенствованная систематизация основных элементов проекта «Индустрия-4.0» по базовым процессам горного производства

Еще в 1980-х гг., под руководством академика РАЕН А.С. Бурчакова А.С., д-ра техн. наук, проф., А.Н. Килячкова в Московском горном институте проводился целый комплекс исследовательских работ и производственных испытаний по так называемым «разворотам» механизированных комплексов. Это дает существенную экономию на концевых участках отработки выемочных столбов за счет ликвидации монтажно-демонтажных работ. Существенный вклад в практическую реализацию этих технологий для Кузнецкого бассейна внес академик РАН Ю.Н. Малышев. Фактически технологии превращались из циклических в поточные.

Академик РАЕН А.С. Бурчаков часто такие «криволинейные» технологии отработки запасов шахты сравнивал с сельскохозяйственной технологией вспашки полей, при которой трактор все время должен двигаться по криволинейной траектории, близкой к спирали. Конечно, в то время это были довольно смелые технологические идеи и решения, вызывающие порой критику и недоверие у производственников.

Однако современная нацеленность мировой экономики на активное использование малых автономных киберфизических систем уже сегодня дает основание для использования этих идей в формировании новых практических решений для угольной промышленности. В предстоящем прогнозном периоде планирование горных работ должно быть основано на пространственно-планировочных решениях, соответствующих отработке автономными производственными блоками, а в необходимых случаях, обеспечивающих переход внутри блока от «прямолинейной» к «криволинейной» технологии добычи угля роботизированными системами.

В настоящее время, вероятно, назрела и реализация идеи скоростного проведения горных выработок за счет применения иных физико-технических методов воздействия на горную породу. В свое время в ИГД им. А.А. Скочинского работала целая лаборатория по *электронно-лучевому способу проведения горных выработок*. В середине 1980-х гг. этот способ был включен Государственным комитетом по науке и технике СССР в «карту» перспективных технологий, которые должны быть реализованы в начале XXI в.

С позиции настоящего времени такая технология могла бы довольно «естественным» образом вписаться в технологии киберфизических систем. Более того, она могла бы достаточно легко сочетаться с технологией 3D-печати, способной вслед за продвижением электронно-лучевого аппарата «печатать» из устойчивых композитов крепь горных выработок, «идеально» прилегающую к «рельефу» обнаженной поверхности горных выработок.

Автоматизация и роботизация проведения горных выработок дает возможность для создания нового класса горно-проходческих машин – *геоходов*. Расширение сектора безлюдной добычи угля может быть увеличено за счет применения *роботизированных систем бурошнековой и скрепероструговой выемки угля*. Процессы подготовки и добычи угля должны сопровождаться цифровым моделированием различных геомеханических процессов, реализуемых при разработке угольных месторождений.

Работа производственных киберфизических систем (особенно при добыче угля и проведении горных выработок) должна обеспечиваться системой самодиагностики деталей и узлов применяемых машин и агрегатов, позволяющей не только подавать сигналы о необходимости замены или ремонта тех или иных частей оборудования, но и участвовать в практической реализации этих процессов.

Приведенные производственно-технологические системы добычи угля, подготовки запасов и проведения горных

работ должны поддерживаться функциональной интеграцией ИТ систем. Такая интеграция осуществляется на базе специальных датчиков, видеокамер, систем управления производством, направляющих информацию в *Центр дистанционного управления и контроля* для краткосрочного планирования основных показателей производства. Это позволит напрямую связать работников предприятий на всех уровнях их взаимодействия.

Принимаемые производственные решения должны формироваться на основе использования технологий «*Большие данные и аналитика*», под которыми подразумевают работу с информацией огромного объема и разнообразного состава, весьма часто обновляемой и находящейся в разных источниках в целях увеличения эффективности работы, создания новых технологических решений и повышения конкурентоспособности. Аналитика, основанная на использовании «*Больших данных*», обеспечивает принципиально иной уровень функционирования производственных систем. Она прежде всего позволяет оптимизировать качество продукции, экономить энергию и повысить производительность применяемого оборудования.

При этом информационные потоки необходимо доставлять и обрабатывать на основе применения «*облачных технологий*». Фактически «облачные технологии» – это удобная среда для обработки информации, объединяющая в себе аппаратные средства, программное обеспечение, каналы связи, а также техническую поддержку совершаемых производственных процессов. Работа в «облаке» направлена на снижение расходов и повышение эффективности работы предприятий.

В последнее время с целью интенсификации и одновременно повышения комфортности монотонного труда в реализации производственных процессов стали внедрять *технологии геймификации*, т.е. использования игровых подходов для повышения эффективности производственной деятельности персонала. Эти технологии также могут найти значительное применение в технологических процессах горного производства.

Важным направлением работы киберфизических систем в автономных производственных блоках является их энергоснабжение. Автономные производственно-технологические системы добычи угля должны обеспечиваться автономными источниками энергии. Причем эти источники энергии должны быть альтернативными с точки зрения применяемых в настоящее время традиционных источников энергии. Важной особенностью этого направления является *миниатюризация источников энергии*, диктуемая размерами и объемами используемых роботизированных систем.

Разведка запасов и планирование горных работ, контроль за движением фронта горных работ должны осуществляться с использованием современных средств навигации. Для оценки состояния горных работ и мониторинга соблюдения требований промышленной безопасности на разрезах целесообразно применение *промышленных дронов*, которые должны также комплексно использоваться в решении следующих функциональных задач: транспортирования, информационно-коммуникационного обеспечения [13, 14].

Важное место в процессах разведки и планирования горных работ занимает *моделирование и стимуляция, цифровое проектирование*. Они основаны на применении 3D-моделей с целью ежедневного управления производством. Данные системы позволяют моделировать месторождение, планировать отработку запасов, анализировать альтернативные

варианты планов горных работ и определять их наиболее оптимальный вариант в режиме реального времени.

В процессе отработки запасов киберфизические производственные системы взаимодействуют со средой. При этом «среда» представляет собой действительную реальность, совмещаемую с трехмерной виртуальной реальностью, генерируемой компьютером. Фактически процессы горного производства полностью или частично должны погружаться в эту комбинированную среду.

Применение современных цифровых технологий открывает новые возможности в проведении поисковых и разведочных работ. Расширяется применение цифрового Интернета – интерпретации пространственно-временных данных о представленных в ГИС объектах. Появляется возможность активного 3D-моделирования геологической среды при разведке месторождений. Получают распространение технологии *дистанционного зондирования земли*, основанного на применении спутниковой геодезии и лазерного сканирования, а также использования навигации и дронов. Возможность виртуализации поисковых и разведочных работ создает среду для интерактивного проектирования скважин и оперативного управления геологическими изысканиями и проведением геофизического анализа.

Выше приведенная система взаимоувязанных технологических элементов позволяет осуществлять текущее планирование и анализ состояния отработки запасов и ведения горных работ в режиме «online».

Важное место в процессах горного производства в перспективном периоде будет занимать *переработка угля*, в том числе глубокая переработка, основанная на применении нанотехнологий и биотехнологий. На основе этого в «контуре» сырьевого производства могут быть получены новые материалы, используемые в различных секторах экономики. Так, технологии углехимии позволяют на основе пиролиза углей получать кокс, полукокс, каменноугольный пик, гумитовые кислоты, нафталин, бензол, каменноугольные масла, аммиак, фенол и др. Важным продуктом углехимии является термококс, получаемый методом термического обогащения угля. Гидрогенизация углей позволяет получить жидкие продукты переработки, такие как бензин, дизельное топливо, смазочные масла, парафин и др.

Использование нанотехнологий и биотехнологий позволяет осуществлять производство нанопористых сорбентов, углеродных молекулярных сит для разделения газов и др.

Учитывая возрастающие экологические требования, предъявляемые к горному производству, процессом переработки должны быть охвачены не только добываемый уголь, но и все отходы горного производства [15]. В этой связи дополнительное производство продукции может быть получено за счет *переработки отходов*. Новые материалы, получаемые из угля и отходов от его добычи, могут быть использованы в *технологиях 3D-печати* для получения продукции необходимой формы и качества.

В рамках интеллектуальной производственной системы уголь и продукция его переработки, а также продукция переработки отходов в соответствии с протоколом и регламентом должны направляться потребителю. В качестве средств доставки угля и продукции может быть использован *беспилотный транспорт*, работающий в едином пространстве искусственного интеллекта. Такой транспорт может быть составлен из совокупности так называемых «умных» вагонов, «знающих» маршруты своего назначения. Вся транспортная система должна базироваться на реализации *когнитивных транспортных процессов*, используемых в подсистемах

управления: транспортными путями, транспортными средствами, перевозками угля, грузов и людей, транспортной безопасностью. Инфраструктура такой системы должна включать: информационную подсистему, телекоммуникационную подсистему, подсистему транспортных сенсоров и транспортных исполнительных устройств [16]. Важное значение в процессах самодиагностики машин и оборудования киберфизических систем, а также замены их износившихся деталей имеет *использование грузовых дронов*. Грузовые дроны, в зависимости от их грузоподъемности, могут осуществлять в рамках общей интеллектуальной сети функции доставки запасных частей к оборудованию и машинам. На транспортных средствах, используемых в горном производстве, все в большей мере будут использоваться автономные альтернативные источники энергии.

Приведенная систематизация элементов проекта «Индустрия-4.0» по базовым процессам горного производства, конечно же, не является исчерпывающей. Однако она дает представление о результатах, масштабах и возможностях интенсификации процессов горного производства в будущих условиях реализации очередной промышленной революции.

Приведенные технологические решения могут являться базой для создания *интеллектуальной технологической платформы угольной промышленности*. В отличие от существующих платформ, в рамках ее поддержания должны проводиться постоянные научно-исследовательские работы, направленные на оптимизацию сочетания перспективных технологий. Технологическая платформа из набора отдельных технологий должна превратиться в постоянно действующий механизм оптимизации сочетания предлагаемых технологических решений.

Такой механизм в виде постоянно поддерживаемого проекта «Шахта будущего» в конце 1970-х – начале 1980-х гг. успешно использовался в угольной промышленности. Его разработчиками были Московский горный институт и ИГД им. А.А. Скочинского. В рамках этого проекта проводилась оптимизация горного производства по многим новым направлениям: от новой механизации и технологий добычи до экономики, безопасности и организационных структур управления. Оптимизировались не отдельные решения, а сочетаемый из них комплекс. Это давало возможность производственникам увидеть оптимальный облик-эталон горного предприятия и позволяло на практике реализовать лучшие технологические решения. Вероятно, в период развития интеллектуальных технологий назрела необходимость реализовать подобный проект как *постоянно действующую интеллектуальную технологическую платформу развития угольной промышленности*.

Применение *интеллектуальных роботизированных технологий* приведет к существенному снижению длительности производственных процессов, значительному повышению производительности труда, снижению себестоимости продукции и повышению эффективности инвестиций. Для подтверждения этих результатов необходимо проведение модельных финансово-экономических расчетов, учитывающих различные сценарные условия и варианты изменения основных макроэкономических параметров развития мировой и российской экономики.

Уже достигнуты первые результаты по «пилотным» проектам внедрения элементов «Индустрия-4.0» в практику работы предприятий угольной промышленности. Так, технологии геоинформационного обеспечения и системы автоматического управления на горных предприятиях, вклю-

чая информационно-измерительные системы обеспечения шахтной безопасности, внедрены на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», в ООО «Шахта Листвяжная» ХК «СДС-уголь», на шахте «Ерунаковская – VIII» «Евраз Групп» и др. Активно ведутся работы по автоматизации и роботизации проведения горных выработок на основе создания нового класса горнопроходческих машин – геоходов. В ОАО «КОРМЗ» (г. Кемерово) создан опытный образец.

Автоматизация и роботизация выемки угля роботизированными комплексами получила наибольшее развитие в Великобритании, Японии, США, Германии, Чехии. В России в 2015 г. на шахте «Польсаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» была введена новая лава по пласту Бреевский, в которой применена технология, позволяющая осуществлять безлюдную выемку угля.

Скважинный метод дегазации угольных пластов с использованием направленного бурения реализован на шахте «Ерунаковская-VIII» «Евраз Групп». Сформированы условия для скважинной безлюдной технологии добычи угля, переведенного в жидкое или газообразное состояние при его подземной газификации.

На предприятиях открытой добычи угля начали применяться следующие технологии:

- *динамического 3D-моделирования* – от процесса проектирования горного предприятия до

- полной рекультивации после завершения горных работ;
- *IT-технологии* с применением спутниковых навигационных систем диспетчеризации технологического транспорта разреза, мониторинга деформации карьерных выработок, техногенных и природных откосов и насыпей;

- *промышленной электроники* (системы дистанционного управления оборудованием на разрезах, промышленный видео контроль и пр.);

- *полной информатизации и автоматизации основных производственных процессов* (комплексы «Умный разрез», «Интеллектуальный карьер»), основанные на единой информационно-управляющей инфраструктуре, предназначенной для мониторинга и управления технологическим оборудованием на разрезе при вскрышных и добычных работах.

Крупнейшим отечественным поставщиком систем автоматизации и информатизации открытых горных работ в России является резидент Сколково, компания «Вист Майнинг Технолоджи». Они активно применяются в компаниях ОАО «СУЭК», ЗАО «ХК «СДС-уголь», ОАО «Мечел-Майнинг», ОАО УК «Кузбассразрезуголь», ООО «УК «Колмар», Лучегорский угольный разрез и др. Успешно используются системы диспетчеризации «КАРЬЕР» и бортовые программно-аппаратные комплексы, состоящие из большого количества функциональных подсистем, использующих навигационные технологии «ГЛОНАСС/GPS».

Заключение

Во многих странах мира технологическая революция требует внедрения 4-й промышленной революции – Программы «Индустрия-4.0», охватывающей всю промышленность, включая и угольную. В некоторых странах мира приступили к разработке и реализации концепции «Общества 5.0» – или «Суперинтеллектуального общества», представляющего собой оптимизацию ресурсов всего социума через интеграцию физического и киберпространства.

Цифровая экономика является частью реализуемой в настоящее время Программы «Индустрия-4.0». Цифровая экономика будет развиваться за счет цифровых предприятий.

Программы «Индустрия-4.0» и «Цифровая экономика» начали внедряться во многих странах мира – Германии, США, Нидерландах, Великобритании, Южной Корее, Японии, Китае, Швеции и др. Лидер Программы «Индустрия-4.0» – Германия, «Общества 5.0» – Япония.

В России начала реализовываться Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», определяющая развитие экономики до 2024 г., во многих отраслях экономики, включая и угольную промышленность. В России накоплен «положительный» опыт, связанный с внедрением проектов «Умная шахта» и «Умный разрез».

В процессе исследования авторами статьи усовершенствована разработанная ими ранее систематизация технологических решений по угольной промышленности, соответствующая основным направлениям реализации глобально-го проекта «Индустрия-4.0», позволяющая приступить к формированию интеллектуальной технологической платформы, включающей необходимость реализации проектов «Виртуальная шахта будущего» и «Виртуальный разрез будущего». Приведенные в статье предложения по внедрению элементов «Индустрия-4.0» в практику угольной отрасли закладывают основу для построения и развития новой интеллектуальной угольной промышленности России.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

1. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Анализ базовых направлений реализации Программ «Индустрия-4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» // *Горная промышленность*. – 2018. – № 1. – С. 22–28.
2. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. 1. Программа «Индустрия-4.0» – новые подходы и решения // *Уголь*. – 2017. – № 10. – С. 44–50.
3. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Глобальный инновационный процесс и его воздействие на ценовые и объемные параметры развития мировой энергетики и черной металлургии // *Черная металлургия: Бюллетень научно-технической и экономической информации*. – 2017. – Вып. 9 (1413). – С. 3–11.
4. Бернд Хиллер «Индустрия 4.0 – умное производство будущего Опыт «цифровизации» Германии», выступление на VI Международном Форуме «Информационное моделирование для инфраструктурных проектов и развития бизнесов Большой Евразии». – Москва, 7 июня 2017 г.
5. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. No 1632-р [Текст]: [утв. расп. Правительства РФ от 28 июля 2017 г. No 1632-р]. – Интернет портал <http://government.ru/> – режим доступа: <http://government.ru/govworks/614/events/>.
6. Норцугу Уэмура «Общество 5.0: взгляд Mitsubishi Electric» // *Экономические стратегии*. – 2017. – № 4.
7. Норцугу Уэмура «Стратегия «Общества 5.0» // *Control Engineering Россия* // controlling.ru/obshhestvo-5.0-uroponsky 11.07.2017.
8. На внедрение мероприятий программы «Цифровая экономика Российской Федерации» потребуется порядка 522 млрд руб. [<https://www.comnews.ru/digital-ecjnjmy/content/112152/2018-03-12/cifrovye-glaza-dlya-promyshlennosti>].
9. Носов Н. Ставка на цифровую экономику // *IKSMEDIA.RU*, 10 июля 2017 г.
10. Симонова М.Д. Цифровая экономика и проблемы расчета ВВП // Ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения-2018. Секция экономических наук» на тему «Цифровая экономика: человек, технологии, институты»: Сб. тез. выст. – Москва, 16–23 апреля 2018 г. – С. 506–511. Код доступа: (www.econ.msu.ru/science/conferences/lotch2018/) (дата обращения: 10 июля 2018 г.).
11. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. 3. Систематизация основных элементов проекта «Индустрия-4.0 по базовым процессам горного производства» (Окончание. Начало в журнале «Уголь», № 10 и 11, 2017). *Уголь*. – 2018. – № 1. – С. 51–57.
12. Ржевский В.В., Бурчаков А.С. Вскрытие и отработка месторождения или шахтного поля блоками. – М.: МГИ, 1984. – 54 с.
13. Плакиткина Л.С. Современные направления инновационного развития в угольной отрасли России. – М.: ИНИИ РАН, 2016. – 225 с.
14. Кутахов В.П., Плякота С.И. Информационное взаимодействие в крупномасштабных робототехнических авиационных системах // Доклад на X международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2017)». – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 02 октября – 04 октября 2017 г.
15. Умнов В.А. Управление отходами в горной промышленности / Экологические проблемы горного производства. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/upravlenie-othodami-v-gornoj-promyshlennosti> (дата обращения: 15.11.2017).
16. Tsyganov V., Malygin I., Komashinsky V. International Experience and Multimodal Intelligent Transportation System of Russia // Доклад на X международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2017)». – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 02 октября – 04 октября 2017 г.