

Мировой инновационный проект «индустрия 4.0» и перспективы комплексного освоения недр в топливно-энергетическом комплексе России

The world innovative project «industry 4.0» and the perspectives of subsoils comprehensive development in the fuel and energy complex of Russia

doi 10.26310/2071-3010.2019.252.10.014



С. М. Никитенко,
*д. э. н., профессор, Федеральный исследовательский центр
угля и углехимии СО РАН*
nsm.nis@mail.ru

S. M. Nikitenko,
*doctor of economic sciences, professor, the Federal research center of coal and coal chemistry
of SB RAS*



Е. В. Гоосен,
*к. э. н., доцент, кафедра экономической теории и государственного
управления, Кемеровский государственный университет*
egoosen@yandex.ru

E. V. Goosen,
*PhD, associate professor, economics and public administration department,
Kemerovo state university*



Е. О. Пахомова,
*младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр угля
и углехимии СО РАН*
epakhomova@mail.ru

E. O. Pakhomova,
junior researcher, Federal research center for coal and coal chemistry SB RAS

Россия является одной из самых крупных и самых обеспеченных энергетическими ресурсами стран. Глубокие изменения, происходящие в мировом топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) и рынках энергоносителей, являются для России своего рода вызовом, который может резко ускорить ее развитие — выступить в качестве «открытого окна возможностей», но также может отбросить назад — на периферию мировой экономики. В этих условиях очень важно понимать суть происходящих перемен и найти оптимальные для страны пути реагирования на эти изменения.

Целью статьи является выявление сути глубоких перемен, происходящих в мировом и российском энергетическом секторе, и поиск путей оптимального реагирования на них отечественного ТЭК и российской экономики в целом.

Russia is one of the largest and most endowed countries with energy resources. The profound changes taking place in the global fuel and energy complex (FEC) and energy markets are a kind of challenge for Russia, which can dramatically accelerate its development — act as an «open window of opportunity», but can also push it back to the periphery of the global economy. Under these conditions, it is very important to understand the essence of the ongoing changes and find optimal ways for the country to respond to these changes.

The aim of the article is to identify the essence of the profound changes taking place in the global and Russian energy sectors and to find ways to respond to them optimally in the domestic fuel and energy sector and the Russian economy as a whole.

Ключевые слова: комплексное освоение недр, новая парадигма развития энергетического сектора, «индустрия 4.0», российский топливно-энергетический комплекс.

Keywords: integrated subsoil development, a new paradigm for the development energy sector, «industry 4.0», the Russian fuel and energy complex.

Введение

Традиционно топливно-энергетический комплекс считается одним из самых консервативных секторов мировой экономики. Это объясняется тем, он длительное время развивался по пути преимущественно экстенсивного развития. Сейчас под воздействием современных вызовов: исчерпания легкодоступных ресурсов, изменения структуры энергетического баланса, структуры рынков и роста волатильности цен на энергоресурсы, появления техники и технологий извлечения ранее недоступных энергоресурсов мировой энергетический комплекс постепенно переходит на интенсивный путь развития. Этот переход глубоко затрагивает все ключевые параметры как самого ТЭК, так стран и регионов, обладающих значительными запасами энергоресурсов и специализирующимися на их добыче. Изменения так глубоки, что новый этап развития ТЭК стали называть «новой парадигмой развития». Одним из ключевых драйверов новой парадигмы развития является активное внедрение в ТЭК элементов проекта «индустрии 4.0», которая носит комплексный характер и опирается на цифровые технологии.

1. Данные и методы

Для анализа текущей и формирующейся парадигм развития мирового энергетического сектора были использованы данные мировой энергетической статистики, размещенные на сайтах IAE (Международного энергетического агентства (International Energy Agency)), ВР. Информация о состоянии российского ТЭК получена из официальных сайтов Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации, Министерства энергетики Российской Федерации. Для оценки степени готовности российских нефтегазовых и уголедобывающих предприятий авторами статьи был проведен анализ официальных документов компаний (отчеты, стратегии развития), официальных сайтов и публичных выступлений топ менеджеров в период 2017 по 2019 гг. Начало временного периода было определено принятием в 2017 г. программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной Правительством (распоряжение от 28 июля 2017 г. № 1632-р.).

2. Комплексное освоение недр и дискуссия о смене парадигмы развития энергетического сектора

Доступ к энергии всегда оказывал глубокое воздействие на экономику. Так локальный энергетический кризис в Англии в XVIII в., вызванный исчерпанием

лесных ресурсов, привел к переходу на уголь и создал условия для индустриализации. Глобальная проблема нехватка энергоресурсов в 1970-х гг. заставила обратиться к интенсивному энергосберегающему потреблению. В современных условиях мир переживает один из самых острых глобальных энергетических кризисов, причиной которого стала необходимость отказа от экстенсивной добычи и потребления минеральных энергетических ресурсов и перехода на интенсивную модель комплексного освоения недр, предполагающую малоотходное использование, извлечение и потребление рациональным и экономически обоснованным сочетанием технологических процессов и оборудования [1].

В последнее время в литературе активно идет дискуссия о необходимости поиска новой парадигмы развития ТЭК, которую связывают с новым подходом к развитию сырьевой базы [2], энергетическим переходом (переход на экологически чистые, смешанные и возобновляемые источники энергии [3], устойчивым развитием на основе использования комплексных геотехнологий [4], использованием новых цифровых технологий [5], изменением организации компаний и апгрейдом цепочек добавленной стоимости [6, 7].

Экстенсивный путь развития ТЭК предполагал, что при истощении одного крупного месторождения компании переходили к другому крупному месторождению, не особенно заботясь об остающихся в недрах «неудобных ресурсах». При истощении одного энергетического ресурса, начинали активно осваивать другой [8]. Это связано с тем, что в отличие от обрабатывающих отраслей, где предпринимательский доход носит краткосрочный характер и непосредственно связан с технологическими и организационными инновациями, в основе развития ТЭК всегда лежали рентные доходы. Размер этих доходов до последнего времени в большей степени определялся качеством добываемого сырья, удобным местоположением и способностью крупнейших добывающих компаний поддерживать монопольное положение на рынке, в том числе за счет особых отношений с государством. Такая ситуация вела к тому, что вопрос внедрения прорывных инноваций и переход на интенсивное комплексное освоение природных ресурсов не был для компаний вопросом «жизни и смерти» [9, 10].

Однако ситуация коренным образом изменилась на рубеже XX – XXI веков и «первым звонком» стало истощение качественных и легкодоступных энергетических ресурсов. Еще на рубеже веков предметом оживленных дискуссий стала проблема глобального исчерпания традиционных минеральных энергетических ресурсов (conventional fossil fuels) [11]. Первоначально эксперты и практики видели выход в при-

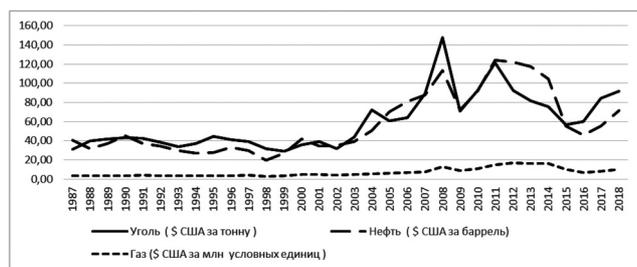


Рис. 1. Динамика цен на энергоносители в 1987-2018 гг. [16]

вычном экстенсивном расширении энергетического сектора: активном поиске крупных месторождений и новом энергетическом переходе — появлении нового глобального источника энергии, способном изменить мировой энергетический баланс и основу развития всей экономики, как уже случалось раньше, когда на смену древесине пришел уголь, затем на смену углю — нефть. Роль нового глобального источника энергии пророчили природному газу, биотопливу, энергии солнца и ветра [12-15], однако этого не произошло. Сначала беспрецедентный рост цен на энергоносители в условиях их дефицита (2001-2008 гг.), а затем такое же их резкое падение в 2009 г. результате финансового кризиса 2008 г. и последующая волатильность цен, привели к тому, что потребители энергоресурсов стали переходить на кастомизированное бережливое потребление, которое выражалось в росте спроса на смешанные энергоресурсы (mix fuel) с заранее заданными свойствами и гарантированными поставками (рис. 1).

Как следствие, в современном топливном балансе наблюдается не столько замещение, сколько диверсификация — уравнивание долей угля, нефти, газа и неминеральных источников первичной энергии (рис. 2).

Примером смешанного потребления могут служить гибридные электростанции, работающие на угольных смесях, или смесях угля и газа, угля и биотоплива и т. д. Широкое распространение получили гибридные автомобили, работающие от системы «электродвигатель — двигатель внутреннего сгорания». Все эти новации уже сейчас позволяют сделать вывод о том, что в ближайшем будущем ведущим энергетическим ресурсом станет целый спектр гибридных взаимозаменяемых ресурсов с заранее заданными свойствами. В перспективе до 2035 г. энергетический переход видится как переход на смешанное потребление ресурсов с заданными свойствами (mix consumption) [20].

Изменение топливного баланса привело к серьезным изменениям в механизмах его поддержания. Начался постепенный отказ от долгосрочных контрактов, на место которых пришли краткосрочные спотовые контракты. Волатильность цен в сочетании со смешанным потреблением привели к тому, что ценовой фактор выбора поставщика ресурса уступил фактору бесперебойности поставок и поставок на основе логистической концепции «Just In Time». В этих условиях, несмотря на сохраняющееся общее превышение потребления минеральных энергоресурсов над предложением,

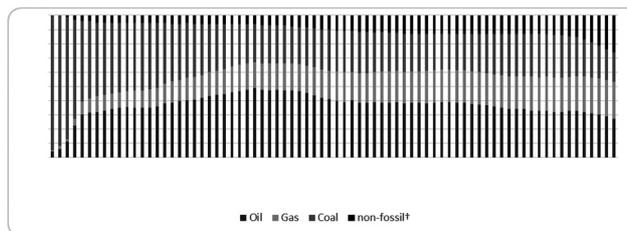


Рис. 2. Структура энергетического баланса/доли энергетических ресурсов, 1900-2035, % [17-19]

традиционная для сырьевых секторов модель «рынка продавца» стала заменяться «рынком покупателя» со всеми характерными для нее чертами: волатильностью цен, повышенными требованиями к гибкости поставок и качеству ресурсов. Растет влияние midstream and downstream в обеспечении гибкости рынка. Все это позволяет сделать вывод о том, что для современного энергетического сектора стал складываться своеобразный mixstream его субсекторов [21].

Наконец, в энергетическом секторе начались активные перемены, связанные с переходом современной экономики на новый формат развития, который получил название «индустрия 4.0» (или четвертая промышленная революция).

Концепт «индустрия 4.0» и его формат в энергетическом секторе

Концепция развития промышленности «индустрия 4.0» была инициирована президентом Немецкой академии технических наук Х. Кагерманном, директором германского Центра исследования искусственного интеллекта В. Вальстером и заведующим департаментом ключевых технологий Федерального министерства науки, образования и исследований В.-Д. Лукасом. Она была разработана в рамках стратегии «Высокие технологии», предложенной правительством Большой коалиции в 2006 г. Основные положения «индустрии 4.0» были представлены на Ганноверской промышленной ярмарке в апреле 2011 г. В том же году она была поддержана ведущими немецкими предпринимательскими союзами — BITCOM e. V. (информационно-коммуникационные технологии), VDMA e. V. (машиностроение) и ZVEI e. V. (электроника), а также Обществом имени Фраунгофера — инициатива во многом коррелировала с уже реализуемыми в промышленности инновационными проектами и программами. Были созданы рабочие группы по уточнению содержания и перспектив новой концепции [22, 23].

В последние годы появился значительный объем литературы, посвященный понятию «индустрии 4.0» [24-28], в том числе по проблемам развития отраслей ТЭК [29, 30].

В современных зарубежных и отечественных исследованиях четвертая промышленная революция, в основном, рассматривается через призму использования информационных и цифровых технологий в промышленных процессах. Среди них наиболее важные:

- киберфизические системы (CPS — Cyber-Physical System);

- промышленный интернет вещей (IoT) в промышленности (использование цифровых двойников, сканеров, датчиков);
- Big Data (большие данные) и бизнес-аналитика;
- AR-технологии (дополненная реальность);
- технологии облачного хранения информации;
- автономные работы;
- информационная безопасность (защищенные данные, система аутентификации при доступе, полный контроль сетей управления);
- аддитивное производство;
- цифровое моделирование;
- горизонтальная и вертикальная интеграция систем (внутреннее и внешнее организационное взаимодействие предприятия) [31].

Однако, было бы неправильно сводить четвертую промышленную революцию только к цифровым технологиям. Изменения происходят стремительно и наряду с цифровыми технологиями связаны, во-первых, с прорывными отраслевыми производственными тех-

нологиями, которые не менее чем цифровые меняют производственные процессы, структуру и организацию управления компанией; во-вторых, с появлением платформенных решений, в основе которых лежат новые продукты, способ их продвижения и потребления, что означает коренную перестройку рынков и механизмов взаимодействия на них основных участников; в-третьих, с изменением взаимоотношений компаний с внешней средой, предполагающих размывание границ предприятия, отраслей и секторов. Происходит, также, превращение части внешней среды компаний во внутреннюю, что открывает новые возможности для взаимодействия бизнеса, государства и общества. Авторы статьи определяют понятие «индустрия 4.0» как глубокое изменение экономического уклада: взаимосвязанное изменение технологий, организаций, рынков и общества, комплексно затрагивающее все отрасли и аспекты жизнедеятельности людей.

В разных отраслях внедрение ключевых элементов «индустрии 4.0» идет по-разному и с разной

Таблица 1

Парадигмы развития энергетического сектора в формате «индустрии 4.0»

Критерии для сравнения	Старая парадигма развития энергетического сектора в формате «индустрия 3.0»	Новая парадигма развития энергетического сектора в формате «индустрия 4.0»
Резервы	Крупные и гигантские месторождения с традиционными ресурсами	Средние и малые месторождения, в том числе с трудноизвлекаемыми запасами
Базовый ресурс	До 1930-х гг. — уголь, до 1980-х гг. — нефть	Гибридные ресурсы с заранее заданными свойствами — mix energy
Топливный баланс	В основе один глобальный ресурс (например, уголь или нефть)	Многокомпонентный баланс, в основе которого лежат все основные источники первичной энергии. Важны как субсекторальная, так и региональная структура
Ключевой субсектор	Upstream (разведка и добыча)	Все сегменты (mixstream) энергетического сектора
Ключевые технологии	Технологии экстенсивной добычи минеральных энергетических ресурсов. Стандартизация и ограниченная автоматизация добычи минеральных энергетических ресурсов	Технологии комплексного освоения недр. Технологии «индустрии 4.0»: цифровизация, Big data и промышленный Интернет вещей. Подход just in time и lean production в транспортировке и логистике
Подход к организации производства в секторе	Преимущественно экстенсивное развитие с элементами интенсификации базовых производств. Процессное производство и place neutral подход. Жесткие границы между субсекторами, сферами и отраслями	Преимущественно интенсивное развитие на основе учета локальных особенностей. Проектный place-based подход. Гибкость и мобильность добычи и поставок ресурсов на основе блоков и модулей. Размывание границ между субсекторами энергетического сектора и смежными отраслями
Цепочки поставок	Закрытые, вертикальные, высокие, восходящие. Ведущая управляющая роль принадлежит добывающей компании. Глобальные	Открытые низкие, разветвленные, нисходящие. Ведущая роль принадлежит сервисным, проектным и научно-исследовательским структурам. Национальные и локализованные
Рынок	Рынок продавца. Глобальный рынок	Рынок покупателя. Растущая роль национальных и локальных рынков
Основные actors	Глобальные частные вертикально-интегрированные компании	Разные компании, в том числе национальные и малые компании
Ключевая форма взаимодействия	Глобальная конкуренция за доступные запасы	Кооперация и сотрудничество на основе совместного доступа к уникальным нематериальным активам и компетенциям
Основной источник конкурентоспособности	Высокое качество и доступность запасов. Цена ресурса. Снижение затрат на добычу ресурса	Гибкость добычи и доставки энергоресурсов. Качество ресурсов и ценовые факторы. Снижение затрат во всех сегментах (mixstream) энергетического сектора
Базовый доход	Природная рента от использования минеральных энергетических ресурсов	Снижение роли природной ренты и рост роли предпринимательского дохода
Подходы к государственному регулированию энергетического сектора	Минимальное вмешательство в деятельность рынка. Косвенные административные меры, направленные на установление жестких бюджетных ограничений. В отдельных случаях перераспределение ренты через фонды национального благосостояния	Растущее вмешательство государства, ориентированное на поддержку новых технологий, компетенций, кооперации, в том числе с помощью механизмов ГЧП. Активное участие государства в развитии национальных и локальных рынков. Поддержка малого и среднего бизнеса в энергетическом секторе

Источник: составлено авторами на основе [32-34]

скоростью. В наибольшей степени «индустрия 4.0» реализуется в обрабатывающих отраслях. Затрагивает она и ТЭК. Именно внедрение элементов «индустрии 4.0» позволяет говорить о смене парадигмы развития в энергетическом секторе. Парадигма — это комплекс сложившихся или специально выработанных руководящих принципов и подходов к решению проблем функционирования и оптимизации развития отрасли, учитывающих его современное состояние и технологические и организационные возможности. Ниже представлено короткое изложение этих коренных изменений (табл. 1).

Основные направления цифровизации мирового энергетического сектора и перспективы КОН

В ТЭК постепенно набирают обороты процессы автоматизации и цифровизации, так как компании уделяют основное внимание применению информационных технологий с целью сокращения затрат на эксплуатацию и добычу. Однако, по сравнению со многими другими отраслями уровень технологической зрелости предприятий ТЭК все еще относительно невысок [35]. На рис. 3 видно, что ТЭК (добывающие и нефтегазовые отрасли) серьезно отстают от отраслей ИКТ, финансовой сферы. К факторам отставания процесса проникновения цифровых технологий в ТЭК относят невысокий уровень автоматизации производства, недостаток квалифицированных кадров, незащищенность от киберугроз [36].

Серьезно сдерживает развитие цифровизации ТЭК несовместимость новых цифровых технологий с существующими не всегда эффективными технологиями добычи полезных ископаемых, системами управления горнодобывающим оборудованием. В качестве негативного примера можно привести неудачный опыт крупнейшей итальянской нефтегазовой компании Eni S. p. A., которой пришлось сократить капитальные затраты на 20% и закрыть проект гибридного высокопроизводительного компьютера НРСЗ, предназначенного для использования в сегменте разведки и добычи углеводородов в связи с огромными издержками. Эксперты связывают неудачу с его несовместимостью с данными, которые уже генерировались существующим оборудованием. Очень часто отдача от цифровых технологий становится возможной только после

полной перестройки компании и среды в которой она работает.

Тем не менее, по мнению специалистов, ТЭК — «это капиталоемкий сектор со значительными возможностями для дальнейшей оцифровки своей базы физических активов» [38, 39]. По данным опроса, проведенного Oil & Gas IQ среди представителей крупнейших международных нефтегазовых компаний, при ответе на вопрос «Как интеллектуальные корпоративные системы могут повлиять на ваш бизнес?» 65% респондентов предположили, что это позволит снизить затраты, 45% — позволит оптимизировать процессы, 44 и 42% увидели возможность модернизировать бизнес и сэкономить время, 35% связывают с цифровизацией выигрывают в конкурентной борьбе [40].

В каких сферах ТЭК наиболее активно внедряются современные технологии и где идут процессы перестройки в формате «индустрии 4.0»? Во-первых, это разведка запасов и подготовка месторождений. На этом этапе наиболее перспективными является сбор и анализ данных об имеющихся резервах, создание цифровых двойников месторождений, проведение геологоразведки с использованием дронов, систем навигации, проектирование будущих «умных» скважин, шахт и карьеров с использованием цифрового проектирования и др. Вторым важным направлением является организация с помощью цифровых технологий логистики и транспортировки. Цифровые технологии особенно востребованы в угольной отрасли, которая испытывает серьезные ограничения на рынках за счет ограничений на выбросы CO₂ и активного внедрения кастомизированного «умного потребления», направленного на экономию энергоресурсов и предъявление спроса на энергоресурсы с заранее заданными свойствами [41]. Так в угольной отрасли на добычу приходится 30% от розничной стоимости угля, а 60-70% стоимости угля — транспортировка. Поэтому оптимизация логистики с помощью цифровых технологий является важным направлением развития отрасли [42].

Еще одним актуальным направлением внедрения цифровых технологий в ТЭК является сочетание гетерогенных типов используемых ресурсов — «energy mix». Для угольной отрасли — это формирование угольных смесей. В мире добывается большое количество различных сортов угля. При этом электростанции требуют смесь углей определенного качества. Угольные компании заинтересованы в том, чтобы составить из имеющихся у них углей необходимые смеси для заказчиков при минимальных затратах. Для решения этой задачи необходимо объединить данные об имеющихся резервах, запасах, маршрутах доставки и т. д. Сделать это можно только с использованием цифровых технологий. С этим, например, позволяют справиться технологии компании River Logic, использующие методы линейного программирования. Такие системы-оптимайзеры уже внедрены во многих угольных компаниях. Они позволяют быстро сформировать план добычи из различных месторождений, транспортировки и смешивания различных сортов угля, чтобы их можно было продать быстро, с максимальной маржой и минимальными затратами [41].

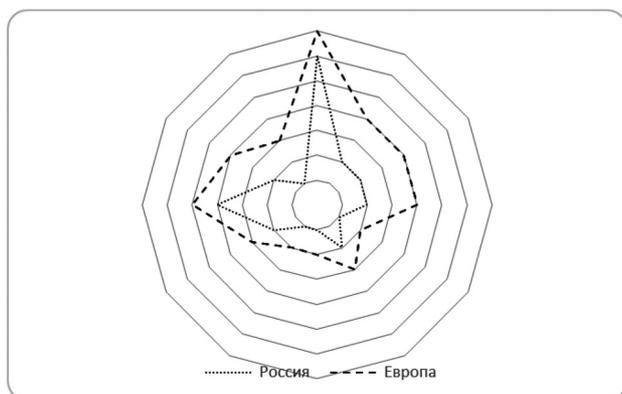


Рис. 3. Уровень цифровизации отдельных отраслей ЕС и России [37]

Многие лидирующие компании ТЭК активно внедряют технологии Big Data. Так южноафриканская компания Sasol использует для хранения и обработки информации технологии «озеро данных» (data lake) — один из элементов экосистемы Big Data, где централизованно собираются большие объемы данных из множества источников. Все большее распространение получают системы предиктивной аналитики и принятия операционных решений на базе машинного обучения. Это касается и систем обнаружения аномалий с целью обеспечения безопасности [42].

Цифровые технологии активно проникают и в нефтегазовую отрасль. Согласно оценке Всемирного экономического форума, цифровизация только нефтегазовой промышленности может принести дополнительный доход \$1,6 трлн к 2026 г. Однако этот технологический переход может оказаться очень болезненной трансформацией для многих старых промышленных предприятий [40].

Основополагающей программой здесь выступает концепция «цифрового месторождения» — модели безопасного, эффективного и основанного на применении передовых технологических решений месторождения будущего. В условиях сокращения традиционных запасов информационные технологии в форме цифровых месторождений востребованы в нефтегазовых компаниях. Технологические решения, называемые «умные скважины» и «умные месторождения», применяются в нефтяной промышленности уже почти два десятилетия. Они нацелены на улучшение знаний о процессах добычи нефти и тем самым на повышение эффективности операций. Пилотный проект решения под названием «умная скважина» был реализован в 1997 г. на месторождении Снорре в Северном море норвежской компанией Saga Petroleum (в настоящее время подразделение Statoil). С тех пор сотни интеллектуальных скважинных систем были введены в эксплуатацию по всему миру. Позже термин расширился до «умного поля», что подразумевает больший масштаб интеграции. Нефтеносные пласты, скважины, сборочные и перерабатывающие объекты были объединены в единую гибкую систему, где каждое частное принятое решение соотносится с общим жизненным циклом месторождения. Такой подход позволяет в несколько раз увеличить коэффициент извлечения нефти, повысить производительность и безопасность производства. «Умные двойники» позволяют моделировать поведение реального объекта в условиях воздействия помех. Операторы имеют возможность отрабатывать свои действия во внешних ситуациях, которая позволяет за счет роста уровня автоматизации, получения информации о процессах онлайн подстраиваться и менять сценарии добычи, последовательность действий. Помимо обеспечения необходимой гибкости производства «двойник» позволяет обеспечить охрану труда сотрудникам, экологичность добычи и экономическую устойчивость компании [42].

Несмотря на схожесть многих процессов цифровая трансформация в энергетическом секторе идет разными путями. Исследователи выделяют три основные модели: цифровизация на основе платформенных моделей, цифровизация на основе «умных месторождений» и

«цифровых двойников» и третья модель — цифровизация на основе создания киберфизических систем [42].

Первая модель наиболее активно внедряется в угольной отрасли, вторая в нефтегазовом секторе. Третья модель еще только набирает обороты и во многом связана с выходом цифровизации за пределы энергетического сектора. В качестве примера можно привести кооперативные связи компаний энергетического сектора с наукоемкими отраслями. Так, только в течение 2017 г. транснациональная нефтегазовая компания BP приобрела компанию Beyond Limits — стартап на основе искусственного интеллекта и когнитивных вычислений, который адаптирует для сектора upstream-технологии NASA, предназначенные для разведки дальнего космоса. Американская интегрированная энергетическая компания Chevron Corporation активно развивает графические процессоры визуализации сейсмических данных и создания трехмерных моделей месторождений. Основная цель — определение наиболее подходящих мест для бурения. Компания Shell разрабатывает алгоритмы машинного обучения для проведения сейсмической разведки для автоматического обнаружения и классификации геологических структур на сухопутных и морских нефтегазовых месторождениях. Все это свидетельствует о том, что идет не просто глубокая трансформация энергетического сектора, но разрушаются барьеры между отраслями и границы между поставщиками, производителями и потребителями [42]. Эти глобальные изменения позволяют говорить о полной смене парадигмы развития энергетического сектора и связанных с ним отраслей.

Очень тесно цифровая трансформация связана с возможностью реализовывать экологические проекты и проекты комплексного использования недр. Так, австралийско-британская транснациональная горно-металлургическая компания Rio Tinto Group организовала проект по производству сельскохозяйственной продукции, которая выращивается при помощи откаченной из шахт воды. Первый сельскохозяйственный проект был начат в 2012 г. и включал в себя 16 полей с искусственным орошением. Вода поступала из шахты по добыче железной руды Marandoo (Австралия). Проект получил название Хамерсли (Hamersley). Так были выращены люцерна и Родсова трава (семейство злаковых). Далее, в 2014 г. запустили сельскохозяйственный проект Наммулди (Nammuldi). В этом проекте используется шахтная вода из находящихся под землей рудников Наммулди и Сильверграсс (Nammuldi and Silvergrass) в результате посажено 19 полей [43].

Важной экологической проблемой в угольной отрасли является сокращение выбросов углекислого газа. Решением может стать создание хранилищ и последующие использование и переработка CO₂ — carbon capture and storage (CCS). CCS — это процесс, включающий отделение CO₂ от промышленных и энергетических источников, транспортировку к месту хранения и долгосрочную изоляцию от атмосферы. Цепочка CCS состоит из трех частей: улавливание углекислого газа, его транспортировка и надежное хранение выбросов углекислого газа под землей в истощенных нефтяных

и газовых месторождениях или в пластах глубоких соленых водоносных слоев.

Горнодобывающая компания BHP Billiton в 2016 г. создала BHP Billiton SaskPower Carbon Capture Knowledge Centre для разработки систем хранилищ углерода, в этом же году заключила исследовательские соглашения с Пекинским университетом на \$7,37 млн для исследования и разработку технологии улавливания, использования и хранения углерода при производстве стали. Пилотной шахтой с использованием CCS в 2017 г. стала шахта Waugarra Coal (Южный Уэльс, Австралия), где ежегодно тратится \$400 млн на проект «технологии с низким уровнем выбросов (low-emissions technologies)» [20].

Готовность предприятий российского ТЭК к внедрению элементов «индустрии 4.0» на основе цифровых технологий

Российский ТЭК значительно отстает по степени готовности к внедрению цифровых технологий и находится в самом начале адаптационного периода. Компании нефтегазовой, угольной и электрогенерирующей промышленности только начинают адаптировать свои традиционные экстенсивные бизнес-модели к новым условиям. Говорить о полноценной реализации даже первого адаптивного периода перехода на новую парадигму развития отрасли в рамках «индустрии 4.0» на российских предприятиях ТЭК пока рано. Пока наибольшее распространение получили проекты автоматизации системы диспетчерского контроля и управления (СДКУ) с использованием SCADA-системы WinCC OA (производство Siemens) с такими функциями, как 3D-визуализация, управление различными операционными системами (включая мобильные) и пр.

Однако, по оценке специалистов, ТЭК в целом имеет значительный потенциал для внедрения отдельных элементов цифровых технологий и элементов «индустрии 4.0» и располагает для этого достаточными средствами [35]. Основными направлениями цифровизации и внедрения элементов в отраслях ТЭК являются технологии, направленные на геологоразведку, снижение производственных и логистических издержек, оптимизацию производства. Последовательность и ключевые точки внедрения различаются и зависят от отрасли, степени автоматизации производственных процессов, включенности в мировые и локальные рынки.

Российские нефтяные компании более продвинуты с точки зрения внедрения новейших информационных технологий и цифровых продуктов. По оценке практиков, уровень цифровизации в нефтегазовой отрасли достаточно высокий. Крупнейшие нефтегазовые компании ПАО «Газпром», ПАО «Газпром нефть», ООО «СИБУР», ПАО «НК «Роснефть», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «Татнефть», ПАО «Транснефть», ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «НОВАТЭК» активно внедряют процессы автоматизации производственных систем: MES, АСУ ТП, систем связи, систем учета финансово-хозяйственных операций предприятия. Сотрудники компаний работают с гаджетами, оперативно фиксируют проблемы и неисправности оборудования, за счет чего быстро и точно проводится переплани-

рование ресурсов предприятия. В последнее время для повышения эффективности производства стали внедряться «цифровые двойники», онтологическое моделирование, когда физический объект описывается в электронных системах, а доступ к этим описаниям получают различные департаменты и службы компании [44].

Одним из лидеров в сфере внедрения цифровых технологий является ПАО «НК «Роснефть». В 2017 г. в стратегию развития компании «Роснефть 2022» вошел раздел «Цифровая «Роснефть», ставящий своей целью внедрение сквозных передовых производственных технологий по всей цепочке поставок. Раздел «Цифровая «Роснефть» включает в себя такие программы: «Цифровое месторождение», «Цифровой завод», «Цифровая АЗС» и «Цифровая цепочка поставок». В компании созданы Центр цифровой трансформации ПАО «НК «Роснефть» и цифровой кластер — ключевые механизмы реализации цифровых программ. Сформированы важнейшие инфраструктурные элементы: Аналитический центр, Полигон прототипирования, Центр партнерского взаимодействия, Центр цифровой трансформации, Центр акселерации.

Приоритетными направлениями цифровизации компании стали:

- создание единого цифрового пространства для совместной работы с геолого-геофизическими данными;
- создание дата-центров — центров обработки данных;
- разработка сквозных цифровых технологий, направленных на выстраивание партнерской экосистемы;
- цифровые проекты.

В рамках первого направления «Роснефть» внедрила цифровую геосистему «ГеоПАК», которая дает возможность получить доступ к проектным данным из любой точки земного шара, пользоваться всем необходимым программным обеспечением и вычислительной инфраструктурой, необходимой для работы с геоданными. Сотрудники могут получить удаленный доступ к необходимой вычислительной инфраструктуре и формировать проектные команды из специалистов, занимающихся разработкой конкретного месторождения находясь на расстоянии до пяти тысяч километров от решаемой задачи. Пользователи системы обеспечены актуализированным программным обеспечением и вычислительными инструментами. Одновременно снижаются затраты на приобретение лицензий инженерного программного обеспечения, технической поддержки и вычислительной ИТ-инфраструктуры.

Вторым приоритетным направлением цифровизации компании стало создание на базе внутреннего ИТ-интегратора «Роснефти» — компании «СИБИНТЕК» центра обработки данных (ЦОД), целями которого являются предоставление высокопроизводительных вычислительных мощностей, систем хранения и единого информационного пространства для обработки данных. А также информационных сервисов для управления строительством скважин и сейсморазведки, решения перспективных задач по обработке и анализу «больших данных» и хранения данных учетных систем.

Инфраструктура дата-центра спроектирована и построена в соответствии с международными стандартами, что обеспечивает сверхнадежную инфраструктуру и возможность обслуживания инженерных систем без их останова. Созданный «Роснефтью» дата-центр выступает в качестве оператора комплексных ИТ-услуг, что позволяет снять структурные и технологические барьеры развития компании.

Третье приоритетное направление — развитие сквозных цифровых технологий. С целью реализации этого направления разработана программа взаимного сотрудничества в области цифровых решений и началось выстраивание партнерской экосистемы. Компания определила дочерние общества, которые выступают полигонами апробации цифровых решений.

Для разработки вновь вводимых участков месторождений в компании реализуются цифровые проекты. Их основная задача — внедрение современных технологий производства и управления еще на стадии планирования. Такой подход позволяет по-новому подойти к процессу проектирования участка, на 40% и более оптимизировать период подготовки крупных проектов и сократить сроки работ до получения первой нефти с месторождений, получить существенное повышение эффективности, обеспечить технологичность и безопасность работы по всей цепочке создания стоимости. Первый такой проект «Цифровое месторождение» был запущен в 2019 г. «Роснефтью» на базе «Башнефти» [45].

Цифровизация постепенно приходит и в угольную промышленность. В ее основе лежит платформенная модель цифровизации. Примером удачного использования этой модели может служить ПАО Сибирская угольная энергетическая компания (СУЭК). Помимо платформенных решений СУЭК внедряет пилотные проекты «умного» угольного пласта. Его смысл состоит в передаче исполнительному органу угольного комбайна данных о текущих размерах и прочностных характеристиках, о наличии в нем нежелательных твердых включений и других значимых для угледобычи параметров. На основе этой информации в режиме реального времени могут меняться режимы работы комбайна: наклон резцов, скорость подачи исполнительного органа комбайна, вектор его перемещения по плоскости очистного забоя. Обмениваясь информацией с машиной, угольный пласт указывает маршрут и транспортные средства, необходимые для доставки угля в требуемую точку к требуемому времени для начала следующего производственного цикла. Кроме того, все машины и оборудование, применяемые на горном предприятии, оснащенные соответствующим программным обеспечением, могут подавать сигналы об износе тех или иных деталей и автоматически заказывать нужные запасные части через Интернет.

На шахтах и угольных разрезах компании СУЭК действуют автоматические диспетчерские, автоматические системы поддержания оптимальных параметров в технологических процессах на обогатительных фабриках, в портах [46]. Кроме того, там работает и целый комплекс интеллектуальных систем: подземный Wi-Fi, позволяющий координировать работы и обеспечить высокую степень безопасности занятого на подземной

добыче персонала; встраиваемые в светильники на касках датчики метана; функциональные 3D-модели всех шахт; различные тренажеры-симуляторы для подготовки сотрудников. Компания получает государственную поддержку на свои проекты (возмещение затрат на создание объектов инновационной инфраструктуры в рамках проекта по увеличению добычи угля в Хабаровском крае).

Аналогичные технологии работают и на шахте «Распадская-Коксовая» компании «ЕВРАЗ». Подземная сеть Wi-Fi в режиме online контролирует все технологические процессы. Сеть развернута на глубине более 500 м и состоит из восьми точек доступа, каждая из которых обеспечивает стабильную трансляцию данных на расстоянии до 50 м от передающего устройства. С ее помощью ведется и видеонаблюдение: 15 видеокамер, расположенные на каждом буровом станке и проходческом комбайне, могут снимать в темноте и распознавать как человека, так и оборудование. В случае возникновения опасности для человека система автоматически отключает технику. Для создания 3D-моделей горной местности, а также маркшейдерских замеров вскрыши и добытого угля на шахте используется квадрокоптер, после полета которого программа обрабатывает полученные данные и выдает результат. Для обучения сотрудников применяются технологии виртуальной реальности с помощью специально созданного тренажера Mu Mine, позволяющего моделировать подземную инфраструктуру шахты: горные выработки, конвейерные линии, подземные коммуникации и другие объекты. Кроме того он используется для проведения командных тренировок, например, для горных диспетчеров и операторов аэрогазового контроля. Компания также получает государственную поддержку (15-процентную льготу по налогу на землю) [47].

Еще одним направлением цифровизации угольной отрасли является внедрение автоматизированных систем контроля и управления технологическими объектами шахты (АСКУ ТО). К ним можно отнести систему контроля и управления конвейерными линиями; систему контроля и управления канатно-кресельной дорогой; систему шахтной стволовой сигнализации; систему контроля и управления водоотливной установкой; системы наблюдения, оповещения и поиска персонала; систему контроля и управления вентиляторами главного проветривания; систему аэрогазового контроля; систему диспетчерского управления электроснабжением шахты. Все это уже успешно работает на таких шахтах Кузбасса как «Алардинская», «Грамотеинская», «Осинниковская», «Сибиргинская». С 2017 г. на ООО «Солнцевский угольный разрез» (Сахалинская область) используется автоматизированная система управления горнотранспортным комплексом, которая в режиме реального времени отслеживает работу всей техники на предприятии [44].

Заключение

Интенсификация мирового энергетического комплекса диктует необходимость поиска новой парадигмы развития российского ТЭК с ориентацией на новые

подходы к развитию сырьевой базы и энергетическому переходу на экологические чистые, смешанные и возобновляемые источники энергии, на устойчивое развитие на основе использования комплексных геотехнологий и формирование новых технологических цепочек добавленной стоимости.

Концепция развития промышленности «индустрия 4.0» открывает предприятиям топливно-энергетического комплекса России новые возможности для значительного повышения производительности труда, обеспечения безопасности, рационального недропользования. Благодаря технологиям цифровиза-

ции, Интернету вещей, искусственному интеллекту и элементам роботизации основных и вспомогательных технологических процессов формируется значительный потенциал для снижения издержек и повышения конкурентоспособности российского ТЭК на мировом энергетическом рынке.

* * *

Статья подготовлена при поддержке Российского научного фонда (проект №. 17-78-20218 «Пространственная специализация и целостное развитие регионов ресурсного типа»).

Список использованных источников

1. Д. Р. Каплунов. Комплексное освоение недр – основное направление проектирования разработки рудных месторождений//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 21. С. 347-357.
2. А. Э. Конторович, Л. В. Эдер. Новая парадигма стратегии развития сырьевой базы нефтедобывающей промышленности Российской Федерации//Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 5. С. 8-17.
3. Д. Р. Каплунов. Проблемы комбинированной геотехнологии при устойчивом экологически сбалансированном освоении недр//Горный журнал. 2018. № 1. С. 14-17.
4. И. В. Пиголева, К. Н. Миловидов. Мировая нефтегазохимия: основные тенденции развития в условиях трансформации мировой энергетики//Микроэкономика. 2018. № 5. С. 22-30.
5. M. Vaněk, P. Bora, E. Maruszewska, A. Kašparková. Benchmarking of mining companies extracting hard coal in the Upper Silesian Coal Basin//Resources Policy. Vol. 53. September, 2017. P. 378-383.
6. С. М. Никитенко, Е. В. Гоосен. Цепочки добавленной стоимости как инструмент развития угольной отрасли//ЭКО. 2017. № 9 (519). <https://cyberleninka.ru/article/n/tsepochki-dobavlennoy-stoimosti-kak-instrument-razvitiya-ugolnoy-otrasli>.
7. S. M. Nikitenko, E. V. Goosen, A. E. Kontorovich. Shift of The World Energy Sector Development Paradigm: Consequences for Russia//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific Conference «Knowledge-based technologies in development and utilization of mineral resources». Novokuznetsk, Russian, 5-8 June 2018. 2018. Vol. 206. № 1. P. 012053-012053.
8. B. S. Ousama, H. Dachraoui, M. Sebri. Natural resource rents and economic growth in the top resource-abundant countries//A PMG estimation, Resources Policy. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.07.005>.
9. J. P. Brown, T. Fitzgerald, J. G. Weber. Capturing rents from natural resource abundance: Private royalties from U.S. onshore oil & gas production//Resource and Energy Economics. Vol. 46. 2016. P. 23-38.
10. J. Mitchell, V. Marcel, B. Mitchell. What Next for the Oil and Gas Industry? London: Chatham House, 2012. 128 p.
11. International Energy Outlook (2011). US. Washington. DOE/EIA. September 2011. 292 p.
12. Мировая энергетика в условиях глобализации: вызовы для России/Научный руководитель Н. А. Симония. М., ИМЭМО РАН, 2007. 153 с.
13. World Energy Outlook. France. Paris. IEA. November 2011. 696 p. http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2011/es_russian.pdf.
14. Н. Сметс. Куда дует ветер/Отв. ред. Н. В. Тоганова, Ю. Д. Квашнин//Энергетические рынки в период глобальных перемен. Мировое развитие. Вып. 15. М.: ИМЭМО РАН, 2015. 123 с.
15. BP Statistical Review of World Energy 2019 | 68th edition, all data 1965-2018. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/xlsx/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-all-data.xlsx>.
16. World Energy Balances 2018: Overview US, Washington, DOE/EIA. <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018-overview>.
17. BP Energy Outlook-2018 edition. <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/powerpoint/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pptx>.
18. BP Statistical Review of World Energy – all data 1965-2017. <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/excel/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-all-data.xlsx>.
19. World Energy Scenarios 2019. Exploring Innovation Pathways to 2040. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Scenarios_Report_FINAL_for_website.pdf.
20. Capturing value from disruption Technology and innovation in an era of energy transformation. PwC global power & utilities. PwC. 2016. 36 p.
21. H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig. 2013: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. 2013.
22. R. Neugebauer, S. Hippman, M. Leis, M. Landherr. Industrie 4.0. From the prospective of applied research//49th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2016. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212827116311556?token=B9B009A3131DA69ADE17BF3F140AEBFB56F1C5FED88AFB681943BCEC0E54C07F167B42C4C2B642DE26A53399247F8F1B>.
23. M. Hermann, B. Otto, T. Pentek. Design-Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review 4.0//Working Paper. January 2015.
24. Industrial Internet Consortium. 2017. A Global Industry First: Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 to Host Joint IIoT Security Demonstration at Hannover Messe 2017. 2018. <https://www.iiconsortium.org/press-room/04-20-17.htm>.
25. E. Hofmann, R. Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics//Computers in Industry International Journal. 2017. № 89. P. 23-34.
26. P. Maresova, L. Svobodová, I. Soukal, M. Hedvicakova. Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics//Economies. August 2018.
27. М. Н. Осовин. Особенности построения Российской модели цифровой экономики: проблемы и пути их решения//ПЭСЭ. 2018. № 3 (67). <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-postroeniya-rossiyskoj-modeli-tsifrovoy-ekonomiki-problemy-i-puti-ih-resheniya>.
28. Ю. А. Плакиткин, Л. С. Плакиткина. Мировой инновационный проект «индустрия 4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. 1. Программа «индустрия 4.0» – новые подходы и решения//Уголь. 2017. № 10 (1099). <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-innovatsionnyy-proekt-industriya-4-0-vozmozhnosti-primeneniya-v-ugolnoy-otrasli-rossii-1-programma-industriya-4-0-novyepodhody-i>.

29. Ю. А. Плакиткин, Л. С. Плакиткина. 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//Уголь. 2018. № 1 (1102). <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-innovatsionnyy-proekt-industriya-4-0-vozmozhnosti-primeneniya-v-ugolnoy-otrasli-rossii-3-sistematizatsiya-osnovnyh-elementov>.
30. A. E. Kontorovich, L. V. Eder, I. V. Filimonova. Paradigm Oil and Gas Complex of Russia at The Present Stage//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. P. 012010.
31. I. V. Filimonova, L. V. Eder, M. V. Mishenin, T. M. Mamakhatov. Current state and problems of integrated development of mineral resources base in Russia//IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2017. 84. P. 012011.
32. S. M. Nikitenko, E. V. Goosen, M. A. Mesyats, E. A. Pakhomova, O. V. Rozhkova. Machine-Building for Fuel and Energy Complex: Perspective Forms of Interaction//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. 253. P. 012023.
33. Горнодобывающая промышленность 2019 г. Ресурсы для будущего. <https://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/publications/assets/pwc-gornodobyvayuschaya-promyshlennost-2019.pdf>.
34. Электронный новостной портал «Нефть и газ». <https://neftegaz.ru/news/gosreg/480553-otraslevaya-rabochaya-gruppa-po-promyshlennosti-planiruet-sozdat-bank-resheniy-dlya-tsifrovy-transf>.
35. Цифровая Россия: новая реальность. Июль 2017. <https://www.mckinsey.com/ru/-/media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Digital-Russia-report.ashx>.
36. J. Manilka. Digitization, AI and Productivity. OECD. 2018. 25 p. <http://www.oecd.org/sti/ind/digital-transformation-business-session-2-manyika.pdf>.
37. Конкуренция в цифровую эпоху. Стратегические вызовы для Российской Федерации. 2018. <http://documents.worldbank.org/curated/en/848071539115489168/pdf/Competing-in-the-Digital-Age-Policy-Implications-for-the-Russian-Federation-Russia-Digital-Economy-Report.pdf>.
38. Цифровая революция: как будет меняться нефтегазовая промышленность? 2019. <https://oilcapital.ru/article/general/05-12-2017/tsifrovaya-revolutsiya-91a53a31-8a30-4ea7-a680-8d0c195751eb>.
39. Smart consumption management system for energy — efficient industrial companies. <https://phys.org/news/2018-08-smart-consumption-energy-efficient-industrial-companies.html>.
40. В. Пестун. Главные плюсы от цифровизации в угольной промышленности лежат в логистике//Jet Info. 2019. № 5-6. <http://www.jetinfo.ru/stati/glavnye-plyusy-ot-tsifrovizatsii-v-ugolnoj-promyshlennosti-lezhat-v-logistike>.
41. Официальный сайт компании Sasol. <https://www.sasol.com>.
42. Yu. Redutskiy. Conceptualization of Smart Solutions in Oil and Gas Industry//8th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, ANT-2017 and the 7th International Conference on Sustainable Energy Information Technology, SEIT 2017. Madeira, Portugal. 16-19 May 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917311171>.
43. Официальный сайт компании «Рио Тинто». <http://www.riotinto.com/australia/pilbara/operations-9602.aspx>.
44. М. Майоров. Цифровые технологии в производстве//Кузбасс. Бизнес-журнал. 2019. http://kuzbass.business-magazine.online/fn_31258.html.
45. Официальный сайт компании ПАО «Роснефть». <https://www.rosneft.ru>.
46. Официальный сайт компании ПАО «СУЭК». <http://www.suek.ru>.
47. Официальный сайт компании ПАО «ЕВРАЗ». <https://www.evraz.com/ru>.

References

1. D. R. Kaplunov. Integrated subsoil development — the main direction of designing the development of ore deposits//Mountain Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2014. № 21. P. 347-357.
2. A. E. Kontorovich, L. V. Eder. A new paradigm for the development strategy of the raw material base of the oil industry of the Russian Federation//Mineral resources of Russia. Economics and Management. 2015. № 5. P. 8-17.
3. D. R. Kaplunov. Problems of combined geotechnology with sustainable ecologically balanced development of mineral resources//Mountain Journal. 2018. № 1. P. 14-17.
4. I. V. Pigoleva, K. N. Milovidov. World petrochemical chemistry: the main development trends in the context of the transformation of world energy//Microeconomics. 2018. № 5. P. 22-30.
5. M. Vaněk, P. Bora, E. Maruszewska, A. Kašpárková. Benchmarking of mining companies extracting hard coal in the Upper Silesian Coal Basin//Resources Policy. Vol. 53. September, 2017. P. 378-383.
6. S. M. Nikitenko, E. V. Goosen. Value chains as a tool for the development of the coal industry//IVF. 2017. № 9 (519). <https://cyberleninka.ru/article/n/tsepochni-dobavlennoy-stoimosti-kak-instrument-razvitiya-ugolnoy-otrasli>.
7. S. M. Nikitenko, E. V. Goosen, A. E. Kontorovich. Shift of The World Energy Sector Development Paradigm: Consequences for Russia//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific Conference «Knowledge-based technologies in development and utilization of mineral resources». Novokuznetsk, Russian, 5-8 June 2018. 2018. Vol. 206. № 1. P. 012053-012053.
8. B. S. Ousama, H. Dachraoui, M. Sebri. Natural resource rents and economic growth in the top resource-abundant countries//A PMG estimation, Resources Policy. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.07.005>.
9. J. P. Brown, T. Fitzgerald, J. G. Weber. Capturing rents from natural resource abundance: Private royalties from U.S. onshore oil & gas production//Resource and Energy Economics. Vol. 46. 2016. P. 23-38.
10. J. Mitchell, V. Marcel, B. Mitchell. What Next for the Oil and Gas Industry? London: Chatham House, 2012. 128 p.
11. International Energy Outlook (2011). US. Washington. DOE/EIA. September 2011. 292 p.
12. World energy in the context of globalization: challenges for Russia/Scientific adviser N. A. Simony. M.: IMEMO RAS, 2007. 153 p.
13. World Energy Outlook. France. Paris. IEA. November 2011. 696 p. http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2011/es_russian.pdf.
14. N. Laughs. Where the wind blows/Ans. ed. N. V. Toganova, Yu. D. Kvashnin//Energy markets in a period of global change. World development. Issue 15. M.: IMEMO RAS, 2015. 123 p.
16. World Energy Balances 2018: Overview US, Washington, DOE/EIA. <https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2018-overview>.
17. BP Energy Outlook-2018 edition. <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/powerpoint/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pptx>.
18. BP Statistical Review of World Energy — all data 1965-2017. <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/excel/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-all-data.xlsx>.
19. World Energy Scenarios 2019. Exploring Innovation Pathways to 2040. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Scenarios_Report_FINAL_for_website.pdf.
20. Capturing value from disruption Technology and innovation in an era of energy transformation. PwC global power & utilities. PwC. 2016. 36 p.

21. H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig. 2013: Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. 2013.
22. R. Neugebauer, S. Hippman, M. Leis, M. Landherr. Industrie 4.0. From the prospective of applied research//49th CIRP Conference on Manufacturing Systems. 2016. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2212827116311556?token=B9B009A3131DA69ADE17BF3F140AEBFB56F1C5FED88AFB681943BCEC0E54C07F167B42C4C2B642DE26A53399247F8F1B>.
23. M. Hermann, B. Otto, T. Pentek. Design-Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review 4.0//Working Paper. January 2015.
24. Industrial Internet Consortium. 2017. A Global Industry First: Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 to Host Joint IIoT Security Demonstration at Hannover Messe 2017. 2018. <https://www.iiconsortium.org/press-room/04-20-17.htm>.
25. E. Hofmann, R. Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics//Computers in Industry International Journal. 2017. № 89. P. 23-34.
26. P. Maresova, L. Svobodová, I. Soukal, M. Hedvicakova. Consequences of Industry 4.0 in Business and Economics//Economies. August 2018.
27. M. N. Osovin. Features of the construction of the Russian model of the digital economy: problems and solutions//PSE. 2018. No. 3 (67). <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-postroeniya-rossiyskoy-modeli-tsifrovoy-ekonomiki-problemy-i-puti-ih-resheniya>.
28. Yu. A. Plakitkin, L. S. Plakitkina. World innovation project «Industry 4.0» – the possibility of application in the coal industry of Russia. 1. The program «Industry 4.0» – new approaches and solutions//Coal. 2017. No. 10 (1099). <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-innovatsionnyy-proekt-industriya-4-0-vozmozhnosti-primeneniya-v-ugolnoj-otrasli-rossii-1-programma-industriya-4-0-novye-podhody-i>.
29. Yu. A. Plakitkin, L. S. Plakitkina. World innovation project «Industry 4.0» – the possibility of application in the coal industry of Russia. 3. Systematization of the basic elements of the project «Industry 4.0» on the basic processes of mining//Coal. 2018. No. 1 (1102). <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovoy-innovatsionnyy-proekt-industriya-4-0-vozmozhnosti-primeneniya-v-ugolnoj-otrasli-rossii-3-sistematzatsiya-osnovnyh-elementov>.
30. A. E. Kontorovich, L. V. Eder, I. V. Filimonova. Paradigm Oil and Gas Complex of Russia at The Present Stage//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. P. 012010.
31. I. V. Filimonova, L. V. Eder, M. V. Mishenin, T. M. Mamakhatov. Current state and problems of integrated development of mineral resources base in Russia//IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2017. 84. P. 012011.
32. S. M. Nikitenko, E. V. Goosen, M. A. Mesyats, E. A. Pakhomova, O. V. Rozhkova. Machine-Building for Fuel and Energy Complex: Perspective Forms of Interaction//IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. 253. P. 012023.
33. Mining 2019 Resources for the Future. <https://www.pwc.ru/ru/mining-and-metals/publications/assets/pwc-gornodobyvayuschaya-promyshlennost-2019.pdf>.
34. «Oil and gas» Electronic News Portal. <https://neftegaz.ru/news/gosreg/480553-otraslevaya-rabochaya-gruppa-po-promyshlennosti-planiruet-sozdat-bank-resheniy-dlya-tsifrovoy-transf>.
35. Digital Russia: a new reality. July 2017. <https://www.mckinsey.com/en/~media/McKinsey/Locations/Europe%20and%20Middle%20East/Russia/Our%20Insights/Digital%20Russia/Digital-Russia-report.ashx>.
36. J. Manilka. Digitization, AI and Productivity. OECD. 2018. 25 p. <http://www.oecd.org/sti/ind/digital-transformation-business-session-2-manyika.pdf>.
37. Competition in the digital age. Strategic Challenges for the Russian Federation. 2018. <http://documents.worldbank.org/curated/en/848071539115489168/pdf/Competing-in-the-Digital-Age-Policy-Implications-for-the-Russian-Federation-Russia-Digital-Economy-Report.pdf>.
38. The digital revolution: how will the oil and gas industry change? 2019. <https://oilcapital.ru/article/general/05-12-2017/tsifrovaya-revoljutsiya-91a53a31-8a30-4ea7-a680-8d0c195751eb>.
39. Smart consumption management system for energy-efficient industrial companies. <https://phys.org/news/2018-08-smart-consumption-energy-efficient-industrial-companies.html>.
40. V. Pestun. The main advantages of digitalization in the coal industry lie in logistics//Jet Info. 2019. No. 5-6. <http://www.jetinfo.ru/stati/glavnye-plyusy-ot-tsifrovizatsii-v-ugolnoj-promyshlennosti-lezhat-v-logistike>.
41. Official site of the company Sasol. <https://www.sasol.com>.
42. Yu. Redutskiy. Conceptualization of Smart Solutions in Oil and Gas Industry//8th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, ANT-2017 and the 7th International Conference on Sustainable Energy Information Technology, SEIT 2017. Madeira. Portugal. 16-19 May 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917311171>.
43. The official website of the company «Rio Tinto». <http://www.riotinto.com/australia/pilbara/operations-9602.aspx>.
44. M. Mayorov. Digital technologies in production//Kuzbass. Business Magazine. 2019. http://kuzbass.business-magazine.online/fn_31258.html.
45. The official website of the company PJSC Rosneft. <https://www.rosneft.ru>.
46. The official website of the company PJSC SUEK. <http://www.suek.ru>.
47. The official website of the company PJSC EVRAZ. <https://www.evraz.com/ru>.