

# ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОЛГОСРОЧНОГО РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ В НОВЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕАЛИЯХ XXI ВЕКА



**А.А. Рожков**, д-р экон. наук,  
профессор Института экономики и  
управления промышленными  
предприятиями НИТУ «МИСиС»,  
председатель Совета директоров  
АО «Росинформуголь»



**М.П. Воскобойник**,  
д-р. экон. наук

## Введение

Развитие угольной промышленности зависит от двух групп факторов: макро-экономических и отраслевых. Из макроэкономических факторов наиболее значительное влияние на состояние отрасли оказывает технологическое и техническое развитие мировой и отечественной экономики, которое определяет уровень внешнего и внутреннего спроса на уголь, а следовательно, и на объемы добычи угля и цены на уголь.

К наиболее важным отраслевым факторам относятся факторы, от которых зависит экономическое состояние отрасли: техническое и технологическое развитие добычи угля и связанная с ним производительность труда, а также затраты на добычу угля.

Анализ тенденций развития этих факторов в ретроспективном периоде и в будущем позволяет установить области и возможности, в рамках которых будет происходить развитие отрасли, выявить направления и главные проблемы в условиях перехода к новой промышленной революции, которые должны стать объектом для принятия соответствующих решений.

Предлагаемая статья состоит из трех частей: стратегические тренды мирового технологического и технического развития; стратегические тренды инновационного технологического и технического развития угольной промышленности России; технико-экономические параметры развития угольной промышленности в XXI в.

## 1. Стратегические тренды мирового технологического и технического развития

В настоящее время экономика наиболее развитых стран Европы, Северной Америки и Азии начинает переходить на новую стадию технического развития, которая характеризуется использованием принципиально новых инновационных технологий и оборудования во всех сферах производства.

Основными прорывными инновационными технологическими направлениями, которые в наибольшей степени повлияют на ход мирового социально-экономического развития в XXI в., являются: 3D-принтерные технологии; нанотехнологии; роботизация; биотехнологии; информационно-коммуникационные технологии; возобновляемые источники энергии (ВИЭ).

В комплексе эти прорывные технологии приведут к новой промышленной революции в сфере материального производства, информационных услуг, производства и потребления энергии. В результате произойдет переход к новому технологическому периоду сравнимому с переходом от аграрной экономики к индустриальной.

Переход к 4-й промышленной революции приведет к резкому сокращению использования нефти, газа и угля в качестве источников энергии за счет значительного снижения потребления в сфере материального производства и развития сферы производства возобновляемых источников энергии.

Для оценки уровня использования принципиально новых инновационных технологий во времени необходимо учитывать, что любая новая технология проходит определенные стадии своего развития, включающие первоначальное использование (от 10 до 30% объема применения), расширенное использование (от 30 до 70% объема применения) и максимальное использование (свыше 70% объема применения). Продолжительность отдельных стадий развития каждого инновационного направления и скорость, с которой происходит переход от одной стадии к другой, являются различными и зависят от технической сложности создания соответствующего оборудования или аппаратуры. Одни направления ту или иную стадию проходят быстро, а другие более продолжительно. Так, например, использование 3D-принтерных технологий для производства промышленных изделий, впервые запатентованной в 1984 г., в последующие годы проходило медленно и в настоящее время еще находится на начальной стадии применения. В то же время информационные и коммуникационные технологии проходят стадии от зарождения идеи до их расширенного применения в ускоренном темпе.

Рассмотрим основные характеристики прорывных инновационных технологий, экономический эффект от их использования и прогнозируемые стадии их применения в различных сферах экономики.

Сферу материального производства изменят 3D-принтерные технологии, нанотехнологии и роботизация.

**3D-принтерные технологии** относятся к тем прорывным технологиям, которые приведут к перевороту в промышленности и медицине. 3D-принтерные технологии позволяют



цельми групами автоматизированного оборудования. В настоящее время происходит широкое развертывание работ по ускорению создания роботов II и III поколений, являющихся основой гибких автоматизированных систем.

По оценкам специалистов, в течение предстоящих десяти лет ожидается массовое внедрение роботов в производство бытовой электроники, компьютеров, автомобильной промышленности и транспортного оборудования. К 2035 г. в промышленности развитых стран полностью автоматизированное производство будет преобладать. Развитие производственных технологий уже к 2040 г. приведёт к появлению самовоспроизводящихся систем, то есть машин, способных производить собственные копии. К 2040–2045 гг. будут созданы достаточно совершенные автономные человекоподобные роботы, которые будут производиться серийно. К 2050 г. будут созданы роботы с искусственным интеллектом. Стадии применения роботов в промышленности приведены на рис. 3.

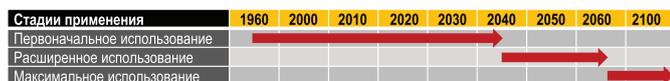


Рис. 3 Стадии применения роботов в промышленности

Сферу информационных услуг полностью обновят новые информационные и коммуникационные технологии.

**Информационно-коммуникационные технологии** уже в настоящее время играют значительную роль в мировой экономике, а в будущем станут ключевым фактором цифровой экономики, так как с этими технологиями связаны все остальные прорывные технологии XXI в. В 1990-х гг. началось сближение биологии, электроники и информатики, что привело к технологическим прорывам в области новых материалов, источников энергии, в медицине, нано-технологии и генной инженерии, которая основывается на декодировании, управлении и возможном перепрограммировании информационных кодов живой материи. Информационно-коммуникационные технологии вследствие большого их потенциала во всем мире признаны в качестве образующего и центрального звена новой мировой экономической системы.

Особенно важное значение будет иметь применение информационно-коммуникационных технологий в производственной деятельности. Уже в настоящее время началась разработка ERP-системы (от англ. Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия), созданной американской исследовательской и консалтинговой компанией Gartner, специализирующейся на рынках информационных технологий. ERP представляет собой интегрированную систему на базе информационных технологий для управления внутренними и внешними ресурсами предприятия (значимые физические активы, финансовые, материально-технические и человеческие ресурсы).

Временной интервал первоначального использования новых информационно-коммуникационных технологий составит 2000–2040 гг. в зависимости от времени расширения использования подготовленных технологий, а также разработки новых направлений. В период 2040–2050 гг. прогнозируется стадия расширенного использования, когда отработанные технологии будут широко использоваться во всех сферах экономики. Широкое применение принципиально новых информационно-коммуникационных технологий произойдет в пределах 2050–2100 гг.

Стадии применения новых информационно-коммуникационных технологий в области записи, хранения и передачи информации приведены на рис. 4.



Рис. 4 Стадии применения новых информационно-коммуникационных технологий в области записи, хранения и передачи информации

Сфера производства энергии будет основываться на принципиально новых технологиях получения энергии.

Крупнейшим направлением инновационного процесса XXI в. является все расширяющееся развитие альтернативных нефти, газу и углю источников энергии, которые можно подразделить на следующие основные группы: биотопливо, солнечная энергетика и водородная энергетика.

**Биотопливо.** Биомасса – самый крупный по запасам из доступных на настоящий момент источников энергии. Полная биологическая масса земли приблизительно оценивается в 1,88 трлн т. Ежегодно на земле образуется около 170 млрд т первичной биологической массы. Экологи отмечают, что биомасса также является крупнейшим по возможностям использования в мировом хозяйстве возобновляемым ресурсом (более 500 млн т условного топлива в год). Одним из важнейших преимуществ новых технологий производства биотоплива является возможность использования непищевых сельскохозяйственных культур, а также широкого спектра отходов сельского и лесного хозяйства, деревообработки, целлюлозно-бумажной промышленности. Использование биосырья в производстве энергии способно успешно заменить самый старый из традиционных энергоносителей – уголь. Директор Института коллоидов и поверхностей им. Макса Планка (Германия) Маркус Антониетти подсчитал, что если взять весь объем имеющейся, к примеру, в Германии биомассы – от отходов переработки сахарной свеклы до биомусора, то его хватит для производства примерно такого же количества энергии, сколько сейчас потребляется в стране для производства энергии из традиционного угля, т.е. примерно 120 млн т каменного и бурого угля в год.

Первоначальная стадия использования биотоплива уже началась в 2000 г., когда стали производить биобутанол и биодизель, используемые в качестве топлива для автотранспорта. Временной интервал первоначального использования биотоплива составляет 2000–2040 гг. в зависимости от времени расширения использования подготовленных технологий, а также разработки новых направлений. В период 2040–2050 гг. прогнозируется стадия расширенного использования, а широкое применение новых технологий производства биотоплива произойдет в пределах 2050–2100 гг. Стадии применения биотоплива приведены на рис. 5.



Рис. 5 Стадии применения биотоплива

**Солнечная энергетика.** Использование энергии солнца, которое практически является неисчерпаемым, позволяет решить энергетические проблемы всего человечества. В настоящее время проводится активная разработка многослойных солнечных элементов с коэффициентом преобразования свыше 50% и аморфные силиконовые солнечные элементы большой площади с коэффициентом преобразования свыше 20%, а также фотоэлементы, в том числе тонкопленочные солнечные элементы большой площади с высоким коэффициентом преобразования. В США создан метод использования разного рода оптических фильтров и систем фокусировки солнечного света, который позволяет довольно

быстро снизить стоимость киловатт-часа электроэнергии, получаемой от солнечных батарей на 25–30%. В результате стоимость киловатт-часа электроэнергии снижается до 20 центов/кВт•ч, а в перспективе – при использовании более совершенных материалов – даже до 6–8 центов/кВт•ч, что по стоимости будет конкурировать с традиционными источниками энергии.

По оценкам Международного энергетического агентства, в 2050 г. благодаря солнечной энергии будет производиться 27% всей электроэнергии, и в дальнейшем Солнце станет основным источником энергии, отчасти из-за снижения стоимости фотоэлектрических солнечных панелей и повышения их КПД. Прогнозируется активное использование солнечной энергии в производстве, на транспорте и в домашних хозяйствах.

Стадия первоначального использования солнечной энергии началась в 2000 г. и продлится до 2040 г. В период 2040–2060 гг. прогнозируется стадия расширенного использования, а широкое применение произойдет в пределах 2060–2100 гг. В докладе Грантемского научно-исследовательского института по изменению климата и окружающей среды (Grantham Research Institute) и Carbon Tracker Initiative отмечается, что солнечные технологии к 2050 г. будут обеспечивать 29% всего мирового производства электроэнергии, вытесняя уголь, нефть и газ.

Стадии применения солнечной энергетики приведены на рис. 6.

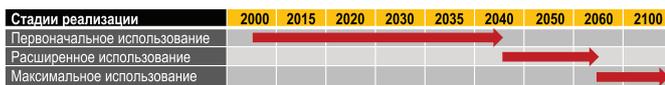


Рис. 6 Стадии применения солнечной энергетики

**Водородная энергетика.** Водород – идеальный вид топлива с высокой калорийностью – 33 тыс. ккал/кг, что в 3 раза выше калорийности бензина. Создание технологий использования водорода в качестве альтернативного вида топлива позволит широко использовать его в авиации, водном и наземном транспорте, промышленности, сельском хозяйстве, а также, как и природный газ, для приготовления пищи, отопления и освещения зданий. Сырьем для получения водорода могут быть как ископаемые топлива, так и биомасса, бытовые и некоторые промышленные отходы, а также и как основной источник на долговременную перспективу – вода.

Водородная энергетика может обеспечить к 2050 г. построение полностью интегрированной водородной экономики, в которой осуществляется получение водорода как энергоносителя для транспортных, промышленных и бытовых нужд с помощью термохимических и электролитических методов. В настоящее время применение водородной технологии находится на самой начальной стадии применения в связи с неопределенными техническими трудностями. Дальнейшее развитие водородной энергетики потребует крупномасштабного производства водорода, для которого необходимо разработать экономически эффективные способы.

Стадии применения водородной энергетики приведены на рис. 7.

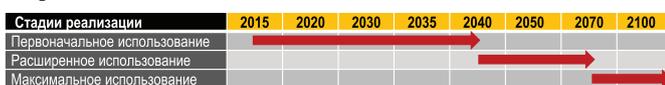


Рис. 7 Стадии применения водородной энергетики

Развитие инновационных технологий, снижающих потребление энергоресурсов, и новые источники энергии, заменя-

ющие традиционные энергоресурсы (газ, нефть и уголь), имеют долгосрочное стратегическое значение [1, 2, 3].

Однако прогнозируемые стадии постепенного расширения применения инновационных технологий и новых источников энергии в различных сферах экономики развитых зарубежных стран показывают, что уровень их использования до 2040 г. будет еще находиться на первоначальной стадии реализации, т. е. в пределах 10–30%. Поэтому в этот период кардинальных изменений в потреблении традиционных энергоресурсов ожидать не следует. Но постепенное снижение потребления традиционных энергоресурсов и, в частности по уголю, в развитых странах происходит и будет происходить. Так, например, по данным, приведенным в BP Statistical Review of World Energy, в 2016 г. по сравнению с 2010 г. потребление угля снизилось: в Великобритании на 64,4%, в США на 31,7% и в Германии на 2,3%.

По прогнозу Международного энергетического агентства (МЭА) World Energy Outlook 2017 (WEO-2017) потребность в энергоносителях в Европе к 2040 г. снизится на 10% по сравнению с текущим уровнем, а наиболее заметное влияние будет ощущаться после 2040 года.

В остальных странах мира технический уровень производства значительно ниже уровня развитых стран и, учитывая политические и экономические условия, в рамках которых происходит технологическое развитие этих стран, можно сделать вывод, что до 2040 г. разрыв в техническом оснащении между развитыми странами и остальными странами мира будет сохраняться. Поэтому рост потребления традиционных энергоресурсов и особенно угля прогнозируется в странах Юго-Восточной Азии, Ближнего Востока, отдельных регионов Африки и Латинской Америки.

Несмотря на сокращение потребления угля в Европе и США ни один из базовых сценариев МЭА (World Energy Outlook 2017, WEO-2017) и «Международного энергетического прогноза» АЭИ США (International Energy Outlook 2017, IEO-2017) не предполагает общего снижения его потребления к 2040 г. в связи с растущей потребностью Индии, Пакистана, Бангладеш и других стран Юго-Восточной Азии, которая возрастет в 2–2,5 раза. Для этих стран с их быстрым ростом населения энергия, полученная на основе генерации угля, имеет решающее значение в промышленном развитии и удовлетворении потребности в бытовом топливе.

Следовательно, на основе вышеизложенного можно с большой долей вероятности утверждать, что развитие угольной промышленности России и ее экспортные возможности вплоть до 2040 г. не будут происходить в условиях ограничения спроса на уголь на мировых рынках.

## 2. Стратегические тренды инновационного технологического и технического развития угольной промышленности России

С учетом рассмотренных выше стратегических трендов мирового технологического развития в XXI в. можно с уверенностью утверждать, что главным стратегическим направлением технологического и технического развития угольной промышленности России является инновационный сценарий, обеспечивающий переход к новому технологическому укладу с элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0» и направленный на ускоренное повышение эффективности работы угольных компаний [4].

Анализ технологических трендов в мире показывает, что даже в такой традиционной отрасли, как угольная промышленность, происходит активная технологическая модернизация и связанные с этим структурные изменения. Начало та-

ких изменений положено с переводом в цифровую форму процессов проектирования технологических систем, контроля их состояния и управления ими. Переход к цифровой экономике означает повышение скорости, наблюдаемости, точности и управляемости всех производственных процессов.

Проведенный обзорный анализ текущего состояния российских угольных компаний в части используемой техники, технологий и современных инновационных разработок, внедряемых в угольной промышленности России и мира с элементами промышленной стратегии «Индустрия 4.0», направленных на повышение эффективности угольного бизнеса, выявил основные направления, которые могут быть положены в основу формирования инновационных технологических платформ [5].

В *подземном способе добычи* угля происходит исключительно эволюционное совершенствование техники и технологий комплексно-механизированной выемки угля, созданных десятилетия назад, включая:

- рациональное извлечение запасов угольных месторождений при создании эффективных и безопасных геотехнологий по отработке пластов угля;

- управление состоянием горного массива и технологий, обеспечивающих предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах;

- разработку технологий, обеспечивающих повышение эффективности вентиляции, дегазации угольных шахт, технологий и технических средств снижения пылевыведения и взрывозащиты, а также разработку и внедрение эффективных способов и средств подавления и локализации пылеметановоздушных смесей;

- разработку технологий добычи угля без постоянного присутствия людей в очистных и подготовительных забоях на базе современной комплексной механизации.

При этом доля подземного способа, несмотря на его технологическую сложность и опасность, сохраняется в России на уровне 27%, так как значительная часть наиболее ценных коксующихся углей может быть отработана только подземным способом.

**Инновационные разработки в подземной угледобыче:**

- технологии динамического 3D-моделирования – от процесса проектирования шахты до полной рекультивации после завершения горных работ;

- технологии геоинформационного обеспечения, сейсмического мониторинга и системы автоматического управления на горных предприятиях, включая информационно-измерительные системы обеспечения шахтной безопасности (внедрены на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс», в ООО «Шахта Листвяжная» ХК «СДС-уголь», на шахте «Ерунаковская – VIII» «Евраз Групп»);

- технологии мониторинга и управления любым технологическим процессом и оборудованием в шахте на основе единых информационно-управляющих систем (комплексы «Умная шахта» на австралийских шахтах);

- автоматизация и роботизация проведения горных работ на основе создания нового класса горнопроходческих машин – геоходов (создан опытный образец в ОАО «КОРМЗ», г. Кемерово) [6];

- автоматизация и роботизация выемки угля роботизированными комплексами – наибольшее развитие работы по шахтной робототехнике получили в Великобритании, Японии, США, Германии, Чехии. В августе 2015 г. впервые в России на шахте «Польсаевская» АО «СУЭК-Кузбасс» была введена новая лава №1767 по пласту Бреевский вынимаемой

мощностью 1,6 м, в которой применена технология, позволяющая вести безлюдную выемку угля [7];

- скважинный метод дегазации угольных пластов с применением направленного бурения (реализован на шахте «Ерунаковская-VIII» «Евраз Групп») и скваженная безлюдная технология добычи угля, переведенного в жидкое или газообразное состояние при подземной газификации, с выдачей его в виде гидросмеси или газа на поверхность [8].

В *открытом способе добычи* угля практически достигнут предел роста единичной мощности выемочно-погрузочного оборудования, связанный как с возможностями машиностроения, так и технологическими особенностями вскрышных, добычных и транспортных работ. Принципиально новая техника для открытых работ, например кранлайны, комбайны послынного фрезерования, комплексы глубокой разработки пластов – не нашли серийного производства и применения. Эффективная для глубоких разрезов циклично-поточная технология (ЦПТ) на добыче угля применяется только на р. Коркинский (1,3 млн т в год), на вскрышных работах ЦПТ используется только на р. Бачатский (2,0 млн м<sup>3</sup> в год). Однако в настоящее время проектируется переход на ЦПТ на двух разрезах АО «СУЭК»: на разрезе «Харанорский» (вместо используемой энергозатратной железнодорожной транспортировки угля) и на разрезе «Апсатский» (вместо принятой в проекте автомобильной транспортировки на 12 км при выполнении вскрышных работ) [9].

**Инновационные разработки в открытой угледобыче:**

- 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;

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

- технологии полной информатизации и автоматизации основных производственных процессов (комплексы «Умный разрез», «Интеллектуальный карьер»), основанные на единой информационно-управляющей инфраструктуре, предназначенной для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием на разрезе при вскрышных и добычных работах (компания «Rio Tinto» эксплуатирует с 2009 г. два полностью автоматизированных карьера в Австралии, в Канаде компания «Alberta Mining Corporation» создала восемь автоматизированных горных производств [10]).

Крупнейшим отечественным поставщиком систем автоматизации и информатизации открытых горных работ в России является резидент Сколково – компания «Вист Майнинг Технолоджи» [11]. Горно-металлургическими компаниями России и СНГ (СДС, СУЭК, УГМК, МЕЧЕЛ, МЕТАЛЛОИНВЕСТ, СМР, ММК, НЛМК, ПОЛЮС, Полиметалл, ДГК, ЕВРАЗ, РУСАЛ, АРСЕЛОР, МЕТИНВЕСТ, ENRC, ЭРДЭНЭТ и др.) в настоящее время с успехом применяются системы диспетчеризации «КАРЬЕР» и бортовые программно-аппаратные комплексы, состоящие из большого количества функциональных подсистем с использованием навигационных технологий «ГЛОНАСС/GPS».

В *обогащении угля* продолжается развитие модульного подхода к проектированию и строительству ОФ с замкнутой водно-пламевой системой и увеличением глубины обогащения до нуля. Современные обогатительные фабрики – высокомеханизированные и автоматизированные предприятия

тия. Автоматизации в обязательном порядке подлежат обеспечение сигнализации и контроля, блокировки и защиты, регулирование и управление конкретными технологическими процессами и обогатительной фабрики в целом;

В *глубокой переработке угля* проблема заключается не в научно-технологическом обеспечении производства продуктов углекислоты, а в экономической целесообразности и эффективности ее решения в России в условиях жесткой конкуренции с нефтью и природным газом в обозримом будущем. В этой связи до сих пор остаются не реализованными проекты и кластерные инициативы по глубокой переработке угля, предусмотренные в «Программе развития угольной промышленности России на период до 2030 года» (ПРУП). Поэтому в ближайшей перспективе следует ожидать только малотоннажного производства продуктов углекислоты – синтетического жидкого моторного топлива, синтез-газа и др.

#### **Инновационные разработки в обогащении, переработке угля и отходов угледобычи:**

– технологии динамического 3D-моделирования – от процесса проектирования ОФ до полной переработки и утилизации отходов обогащения;

– IT-технологии полной автоматизации всех основных производственных процессов обогащения к постепенному переходу к созданию комплекса «Саморегулируемая (умная) фабрика»;

– технологии глубокой переработки углей (газификации твердых топлив с производством синтез-газа, гидрогенизации и пиролиза твердых топлив, производства широкого спектра продуктов из синтез-газа и др.).

Анализ мирового опыта внедрения инновационных разработок показывает, что основные инновационные технологии по добыче и переработке углей в мире находятся на стадии масштабирования или внедрения и уже приносят прибыль [12].

Угольная отрасль России сегодня отстает от угольных отраслей развитых экономик мира по темпам внедрения таких технологий. Если следовать содержанию ПРУП (подпрограмма «Обеспечение технологического развития отрасли и укрепление научно-технической базы компаний и научных центров»), то выделение инвестиций на эти цели предусмотрено только на 3-м этапе ее реализации (2021–2030 гг.). При таком сценарии развития технологическое отставание отрасли от ведущих экономик мира будет нарастать. Поэтому уже сегодня необходимо активизировать процесс освоения и внедрения технологий по глубокой переработке и комплексному использованию углей [13].

Следовательно, инновационное развитие угольной отрасли сегодня зависит от создания прогрессивной технологической базы рационального использования углей. Технологии комплексной переработки углей и утилизации угольных отходов улучшают потребительские свойства конечного продукта, что гарантирует сохранение и развитие конкурентных возможностей на внутреннем и внешнем рынках. В этом направлении современное развитие угольной промышленности можно определить как инновационно-технологическое [13].

Вышеприведенный анализ современных инновационных мировых и отечественных разработок в угольной промышленности с учетом оценок достижения показателей по технологическому развитию и импортозамещению в угольной отрасли России позволяет сделать вывод о том, что и в мире, и тем более в отечественной угольной промышленности, делаются еще только первые шаги по переходу к четвертой промышленной революции – цифровизации, роботизации

и интеллектуализации производственно-технологических процессов с формированием платформенных технологий.

При этом следует отметить, что в целом современный уровень производства отечественной угольной отрасли значительно уступает мировому научно-техническому уровню: высокая энергоемкость, значительный коэффициент износа основных фондов, морально устаревшие традиционные технологии добычи углей и пр.

#### **Технологические платформы как основа перехода к новому технологическому укладу.**

Технологические уклады реализуются посредством технологических платформ, то есть с помощью коммуникационных площадок для взаимодействия бизнеса, науки, потребителей и государства по вопросам модернизации и научно-технического развития по определенным технологическим направлениям.

В настоящее время в России действуют две технологические платформы, направленные на технологическое обновление угольной промышленности.

1. *Технологическая платформа твердых полезных ископаемых (ТП ТПИ)* – организация-координатор – Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

Целями ТП ТПИ являются:

- создание энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих при их коммерциализации и внедрении повышение добавленной стоимости продукции, расширение минерально-сырьевой базы, рост производительности труда, рост конкурентоспособности продукции в отраслях промышленности России, связанных с добычей и переработкой твердых полезных ископаемых;

- ликвидация отставания России в объемах и методах добычи твердых полезных ископаемых, в дальнейшем – достижение промышленностью твердых полезных ископаемых Российской Федерации лидирующих научно-технологических и экономических позиций в глобальном масштабе;

- сохранение и укрепление существенного опережения исследований и разработок в России по ряду научно-технических направлений в области добычи и глубокой переработки твердых полезных ископаемых, проводимых на мировом уровне, в первую очередь в геомеханических и геодинамических исследованиях, разработке скважинных («геотехнологических») методов добычи твердых полезных ископаемых, освоению месторождений бедных и тонко вкрапленных руд [14].

2. *Технологическая платформа «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности»* является добровольным объединением на основе общности интересов для реализации совокупности проектов по исследованию, разработке и коммерциализации передовых технологий в области электроэнергетики.

Цель технологической платформы: организация и координация усилий по исследованию, разработке, созданию и широкому тиражированию участниками технологической платформы перспективных энергетических технологий, новых продуктов (услуг), а также привлечение дополнительных ресурсов, необходимых для реализации проектов, включая реализацию ключевых проектов угольной генерации [15].

Обе действующие технологические платформы направлены как на текущее технологическое обновление угольной промышленности, так и на ближайшую перспективу и, с нашей точки зрения, могут быть положены в основу реализации умеренного сценария развития угольной отрасли на период до 2035 года, но не обеспечивают перехода отрасли к новому технологическому укладу, связанному с переходом

от индустриального к постиндустриальному развитию – глобальному мировому тренду «Индустрии 4.0» с внедрением принципов «Умного производства».

Таким образом, основные направления технологического и технического развития угольной промышленности России должны базироваться как на действующих, так и принципиально новых инновационных технологических платформах.

Формирование и функционирование инновационных технологических платформ (ИТП) угольной промышленности должно осуществляться в соответствии со следующими основными принципами:

- направленность на решение стратегических задач развития национальной экономики, приоритетных государственных интересов, удовлетворение важнейших общественных потребностей;

- значимое представительство интересов угольного бизнеса, ключевых производителей и потребителей в органах управления ИТП;

- ориентированность на проведение исследований и разработок для решения средне- и долгосрочных задач социально-экономического развития страны и угольной промышленности России;

- широкий спектр рассматриваемых инновационных технологических решений, ориентация на проработку различных технологических альтернатив в соответствии с направлениями развития шестого технологического уклада и «Индустрии 4.0», обеспечивающих переход угольной отрасли к новому технологическому укладу;

- расширение партнерства угольного бизнеса и научной кооперации, включая международную, поиск лучших партнеров для решения стоящих перед ИТП задач;

- привлечение финансовых средств из различных источников;

- прозрачные правила участия, открытость для входа новых участников;

- ясность и публичность достигнутых результатов, использование современных методов информационного обмена.

Цели ИТП угольной промышленности:

- расширение «горизонта» возможных направлений структурно-инновационной технологической модернизации и повышение ее результативности за счет развития научно-производственных партнерств;

- расширение круга потенциальных «бенефициаров» от исследований и разработок, поддерживаемых государством;

- улучшение условий для распространения в угольной отрасли передовых (прорывных) технологий;

- привлечение дополнительных негосударственных ресурсов в инновационную сферу;

- консолидация ресурсов на приоритетных направлениях инновационного развития;

- селекция лучших технологий, формирование «центров превосходства» в секторе исследований и разработок, развитие системы связей;

- расширение возможностей по оценке приоритетности для социально-экономического развития различных научно-технологических направлений в угольной промышленности.

В основе инновационных технологий лежит концепция промышленной стратегии «Индустрия 4.0» и соответствующие цифровые технологии.

Для создания нового инновационного технологического базиса угольной промышленности предлагается сформировать и развивать пять групп ключевых технологических платформ, представляющих в целом новую парадигму ин-

**Таблица 1 Перспективные технологии и направления инновационных технологических платформ угольной промышленности с внедрением элементов «Индустрии 4.0»**

Перспективные технологии и направления с элементами «Индустрии 4.0»	Краткая характеристика технологий и направлений
<b>1. ТП «Поисковые и разведочные работы»</b>	
Совершенствование геоинформационных систем (ГИС) при геологоразведке	Цифровая интернет-интерпретация пространственно-временных данных о представленных в ГИС объектах; 3-D моделирование геологической среды при разведке месторождений
Технологии дистанционного зондирования земли	Применение комплексов спутниковой геодезии и лазерного сканирования, использование систем навигации и дронов
Технологии виртуализации поисковых и разведочных работ	Создание среды для интерактивного проектирования сква-жин, оперативного управления геологическими изысканиями и геофизического анализа
<b>2. ТП «Технологии подземных горных работ»</b>	
Технологии проведения горных выработок и формирования подземного пространства	Автоматизация и роботизация проведения горных выработок на основе создания нового класса горнопроходческих машин – геоходов
Технологии выемки угля без присутствия людей в очистном забое	Автоматизация и роботизация буровых выемки угля, выемки угля скрепероструговыми установками и роботизированными комплексами
Технологии геоинформационного обеспечения	Технологии геоинформационного обеспечения и системы автоматического управления на горных предприятиях, учитывающих горнотехнические особенности российских месторождений и российские стандарты; цифровое моделирование геомеханических процессов при разработке месторождений
Интернет вещей при подземном способе добычи угля	Комплексы «Умная шахта» – единые информационно-управляющие инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием в шахте, обеспечения связи и сигнализации, наблюдения, оповещения и поиска людей, застигнутых аварией
Развитие геотехнологий безлюдной добычи угля	Скважинная добыча угля, переведенного в жидкое или газообразное состояние при подземной газификации, с выдачей его в виде гидро-смеси или газа на поверхность
<b>3. ТП «Технологии открытых горных работ»</b>	
Интернет вещей при открытой добыче угля	Комплексы «Умный разрез» или «Интеллектуальный карьер» – единые информационно-управляющие инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и управления любым технологическим оборудованием на разрезе при вскрышных и добычных работах
<b>4. ТП «Технологии переработки угля и отходов производства»</b>	
Интернет вещей при обогащении, переработке угля и отходов производства	Комплексы «Саморегулируемая (умная) фабрика» – сфокусированы на создании «умных» процессов, продуктов, оборудования, а также должны вовлекать людей работать в среде ИТ-системы. Все компоненты (люди, машины, продукты и объекты) благодаря встроенным датчикам должны коммуницировать друг с другом также естественно, как и в социальной сети, без вмешательства человека

<p><b>Технологии углехимии с получением продуктов с высокой добавленной стоимостью</b></p>	<p>Пиролиз (коксование) углей – получение кокса, полукокса, каменноугольных пеков, гуминовых кислот, нафталина, антрацена, фенантрена, бензола, каменноугольных масел, аммиака, фенола, крезола, пиридинных оснований, коксового газа.</p> <p>Технология «термококс» – производство обогащенного твердого топлива методом термического обогащения угля.</p> <p>Непрямая гидрогенизация углей – получение жидких продуктов (бензина, дизельного топлива, смазочных масел, парафинов, фенолов) из смол газификации или пиролиза углей.</p> <p>Прямая гидрогенизация углей – прямая деструктивная гидрогенизация под давлением (с катализатором или без) с получением моторного топлива и сырья для органического синтеза</p>
<p><b>Использование нанотехнологий и биотехнологий</b></p>	<p>Развитие инновационных конкурентных направлений технологического использования углей – нанопористых сорбентов, углеродных молекулярных сит для разделения газов и др.</p>
<p><b>5. ТП «Технологии транспортировки горной массы»</b></p>	
<p><b>Интернет вещей при транспортировке угля потребителям</b></p>	<p>Комплексы «Интеллектуальный транспорт и центры управления» – единые информационно-управляющие логистические инфраструктуры, предназначенные для мониторинга и цифрового управления транспортом (автомобильным, железнодорожным, морским) при транспортировке угля потребителям</p>
<p><b>Автоматические транспортные средства</b></p>	<p>Использование технологических автомобилей-беспилотников при транспортировке вскрыши и угля на разрезах; применение грузовых беспилотных летательных аппаратов (дронов, дирижаблей нового поколения) при транспортировке угля на дальние расстояния из труднодоступных районов</p>

новационной деятельности в угольной промышленности (табл. 1).

Основные задачи новых инновационных технологических платформ угольной промышленности России:

- формирование стратегического видения реализации промышленной стратегии «Индустрия 4.0»;
- определение основных требований и функциональных свойств отечественной угольной промышленности на базе стратегии «Индустрия 4.0» и принципов их осуществления;
- определение основных технологических направлений по основным секторам (процессам) технологического развития угольной отрасли: поисковые и разведочные работы; подземная и открытая добыча угля; обогащение, переработка угля и отходов производства; транспортировка угля;
- определение основных компонентов, технологий, информационных и управленческих решений во всех вышеуказанных процессах;
- диверсификация деятельности угледобывающих компаний при создании продуктов с высокой добавленной стоимостью за счет реализации направлений действующей технологической платформы «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» и новой инновационной платформы «Технологии обогащения, переработки угля и отходов производства»;
- преодоление технологического разрыва и импортозависимости путем реализации поэтапного импортозамещения

и инновационного развития российской угольной промышленности и отечественного горного машиностроения.

Таким образом, речь может идти о необходимости реализации новой парадигмы развития угольной промышленности России на базе инновационных технологических платформ с элементами «Индустрии 4.0» и реализации государственной политики по импортозамещению. При этом необходимо создать на принципах государственно-частного партнерства единую сеть научно-образовательных центров для разработки и доведения до промышленного использования прорывных инновационных технологий в угольной промышленности, а также подготовки высококвалифицированных кадров.

### 3. Техничко-экономические параметры развития угольной промышленности России в XXI в.

Начало нового века совпало с окончанием реструктуризации угольной промышленности и переходом отрасли на рыночные отношения.

Развитие угольной промышленности в течение 20 лет XXI в. (с учетом оценки ожидаемого уровня показателей в 2020 г.) происходит по нарастающей траектории, однако с преобладанием экстенсивных факторов роста эффективности.

Добыча угля возрастает с 258 млн т до 420 млн т, т.е. в 1,6 раза. При этом поставки на внутренний рынок сокращаются с 85,3% до 45%, а поставки на экспорт возрастают с 14,7% до 55%. Снижение поставок угля на внутренний рынок связано с перераспределением топливного баланса в пользу более дешевого и экологичного газового топлива и происходящей газификацией регионов. В результате угольная промышленность превращается в экспортно-ориентированную отрасль.

Производительность труда 1 работника промышленно-производственного персонала (ППП) в основном производстве увеличивается в 3,3 раза за счет роста фондовооруженности труда в 8,3 раза при снижении фондоотдачи на 60%. Значительный рост фондовооруженности труда в неизменных ценах определяется ростом основных производственных фондов в основном производстве в 4,1 раза и снижением численности ППП на 51%. Снижение фондоотдачи в неизменных ценах связано с высоким ростом основных производственных фондов, которые не привели к соответствующему росту добычи угля. Рост основных производственных фондов превышает рост добычи угля в 2,5 раза.

Рост производительности труда за счет экстенсивных факторов объясняется как низким техническим уровнем многих видов оборудования, так и низкими темпами выбытия низкопроизводительных машин и оборудования и ввода высокоэффективной техники.

Коэффициент выбытия фондов, представляющий собой отношение стоимости ликвидированных за год основных производственных фондов к их общей стоимости, в среднем за этот период составляет 2,5%, что является весьма низким по сравнению с развитыми странами мира, в которых указанный показатель редко опускается ниже значения 10%.

Коэффициент обновления основных фондов, представляющий собой отношение стоимости основных фондов, введенных в действие в течение года, к их общей стоимости, колеблется в пределах от 1,7% до 7,1%.

Инвестиции в основной капитал в основном производстве за весь период составят 323,8 млрд руб. в ценах 2000 г. и 1059 млрд руб. в номинальных ценах. Инвестиции в основной капитал в основном производстве в угольной промышлен-

**Таблица 2 Инвестиции в основной капитал в основном производстве в угольной промышленности по пятилетиям в 2001–2020 гг., млрд руб.**

Показатели	2001-2005 факт	2006-2010 факт	2011-2015 факт	2016-2020 оценка
В номинальных ценах	91,69	241,74	385,71	339,91
В ценах 2000 г.	59,77	90,52	97,02	76,5

Источник: 2000-2017 гг. - ФГБУ «ЦДУ ТЭК»; 2018-2020 гг. – оценка авторов

ленности по пятилетиям в 2001–2020 гг. в ценах 2000 г. и в номинальных ценах приведены в табл. 2.

Норма инвестирования в основной капитал, представляющая собой отношение объема инвестиций в основной капитал к доходам от реализации угля, составляет 11,8% и находится на среднем уровне по сравнению с нормой инвестирования в развитых зарубежных странах.

Средняя себестоимость 1 т добычи в неизменных ценах возрастает в 1,76 раза. На темп роста оказывало влияние два противоположно действующих фактора: усложнение горно-геологических условий добычи угля, что влияло на увеличение затрат, и увеличение доли открытой добычи угля с 64,6 в 2000 г. до 75%, которое оказало влияние на снижение затрат. В результате темп роста себестоимости 1 т угля незначительно превышал темп роста добычи угля.

В номинальных ценах средняя себестоимость 1 т добычи возрастает в 9,1 раза, а средняя цена производителя 1 т угля в номинальных ценах в 11,2 раза.

Темпы изменения основных технико-экономических параметров развития угольной промышленности по пятилетиям в 2001–2020 гг. приведены в табл. 3.

Тенденции изменения технико-экономических параметров развития угольной промышленности в 2001–2020 гг. показывают, что одной из ключевых проблем дальнейшего развития угольной промышленности на современном этапе является качественное изменение технического базиса производства на основе внедрения нового высокопроизводительного оборудования и современных технологий добычи угля.

Развитие принципиально новых инновационных технологий и оборудования в сфере материального производства, информационных услуг, производства и потребления энергии, которое постепенно возрастает и влияние которой после 2040 г. будет преобладающим, вызывает необходимость перехода угольной промышленности на новый технологический и технический уровень, основой которого является цифровая экономика.

**Таблица 3 Темпы изменения основных технико-экономических параметров развития угольной промышленности по пятилетиям в 2000–2020 гг.**

Показатели	2005/2000 факт	2010/2005 факт	2015/2010 факт	2020/2015 оценка
Добыча угля	1,161	1,079	1,145	1,134
Производительность труда 1 работника промышленно-производственного персонала (ППП) в основном производстве	1,466	1,213	1,347	1,383
Численность промышленно- производственного персонала в основном производстве	0,792	0,889	0,850	0,820
Фондовооруженность труда в ценах 2000 г.	1,953	1,539	2,053	1,348
Фондоотдача основных фондов по добыче угля в ценах 2000 г.	0,751	0,788	0,656	1,026
Объем основных средств по добыче угля в ценах 2000 г.	1,546	1,368	1,745	1,105
Средняя себестоимость 1 т добычи угля в ценах 2000 г.	1,184	1,455	0,997	1,027

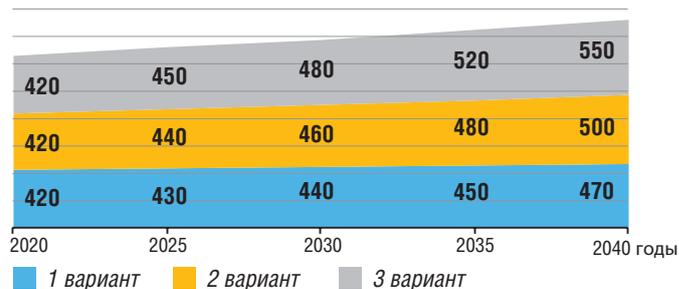
Источник: 2000–2017гг.– - ФГБУ «ЦДУ ТЭК»; 2018–2020гг. – оценка авторов

Реализация новых направлений технологического обновления угольной промышленности может осуществляться в двух наиболее важных и необходимых для отрасли сценариях: умеренного инновационного технологического развития и форсированного инновационного технологического развития.

Сценарий умеренного инновационного технологического развития предполагает средний рост использования инновационного технологического оборудования и машин.

Сценарий форсированного инновационного развития основывается на максимальном использовании всех новейших достижений мирового технологического прогресса в угольной промышленности, включая переход к передовым цифровым и интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья.

В рамках каждого сценария проведены расчеты по трем вариантам добычи угля в зависимости от прогнозируемого спроса на угольную продукцию. Прогнозируемые объемы добычи угля приведены на рис. 8.



**Рис. 8 Прогнозируемые объемы добычи угля в период 2020–2040 гг., млн т**

Ключевым фактором развития угольной отрасли России на перспективу является экспортная направленность угольной промышленности при снижении внутреннего спроса на угольную продукцию. При этом экспорт угля будет смещаться на рынок стран АТР.

Технико-экономические параметры долгосрочного развития отрасли до 2040 г. определялись на основе расчетов, проведенных с использованием разработанной авторами статьи имитационной экономико-математической модели перспективного развития угольной промышленности (ИЭММуголь) [16, 17].

Основными тенденциями долгосрочного развития угольной промышленности до 2040 г. являются:

- рост объемов добычи угля за счет экспорта;
- рост производительности труда за счет эффективного использования инновационного высокопроизводительного оборудования и современных технологий добычи угля;
- рост коэффициента обновления основных производственных фондов по добыче угля;
- снижение численности промышленно-производственного персонала в основном производстве;

**Таблица 4** Темпы изменения основных технико-экономических параметров по вариантам добычи угля сценария умеренного инновационного технологического развития угольной промышленности по пятилетиям в 2021–2040 гг.

Показатели	2025/2000	2030/2025	2035/2030	2040/2035	2040/2020
<b>Производительность труда 1 работника промышленно-производственного персонала (ППП) в основном производстве по всем вариантам</b>	1,396	1,456	1,511	1,625	в 5 раз
<b>Численность промышленно-производственного персонала в основном производстве</b>					
1-й вариант	0,733	0,703	0,677	0,643	0,224
2-й вариант	0,750	0,718	0,691	0,641	0,239
3-й вариант	0,768	0,733	0,717	0,651	0,262
<b>Фондовооруженность труда в ценах 2000 г.</b>					
1-й вариант	1,385	1,433	1,471	1,532	в 4,5 раза
2-й вариант	1,380	1,424	1,458	1,535	в 4,4 раза
3-й вариант	1,376	1,416	1,435	1,522	в 4,25 раза
<b>Фондоотдача вводимых основных фондов по добыче угля в ценах 2000 г. по всем вариантам</b>	1,163	1,267	1,351	1,480	в 2,9 раза
<b>Фондоотдача основных фондов по добыче угля в ценах 2000 г.</b>					
1-й вариант	1,008	1,016	1,027	1,061	1,12
2-й вариант	1,011	1,022	1,036	1,059	1,13
3-й вариант	1,015	1,028	1,053	1,068	1,17
<b>Объем основных средств по добыче угля в ценах 2000 г.</b>					
1-й вариант	1,016	1,007	0,996	0,984	1,03
2-й вариант	1,036	1,023	1,007	0,984	1,05
3-й вариант	1,056	1,037	1,029	0,990	1,12
<b>Средняя себестоимость 1 т добычи угля в ценах 2000 г.</b>					
1-й вариант	1,024	1,030	1,034	1,039	1,133
2-й вариант	1,031	1,036	1,039	1,038	1,153
3-й вариант	1,038	1,042	1,050	1,041	1,183

Источник: расчеты авторов

**Таблица 5** Инвестиции в основной капитал в основном производстве в угольной промышленности по вариантам добычи угля сценария умеренного инновационного технологического развития по пятилетиям в 2021–2040 гг., млрд руб.

Показатели	2021–2025	2026–2030	2031–2035	2036–2040
<b>1-й вариант</b>				
в номинальных ценах	361,1	533,1	815,5	1346,6
в ценах 2000 г.	57,0	75,4	104,4	156,1
<b>2-й вариант</b>				
в номинальных ценах	413,3	590,2	883,3	1406,4
в ценах 2000 г.	65,3	83,5	113,1	163,1
<b>3-й вариант</b>				
в номинальных ценах	465,4	647,4	991,9	1514,3
в ценах 2000 г.	73,5	91,6	127,1	175,6

Источник: расчеты авторов

– снижение стоимости основных производственных фондов в основном производстве, несмотря на рост объемов добычи угля, в связи со снижением стоимости высокотехнологичного оборудования на единицу единичной производительности труда этого оборудования;

– рост фондоотдачи основных производственных фондов по добыче угля;

– рост фондовооруженности труда в основном производстве;

– рост себестоимости 1 т добычи угля в связи с ухудшением горно-геологических условий добычи угля.

**По сценарию умеренного инновационного технологического развития прогнозируется в 2040 г. по сравнению с 2020 г.:**

– рост производительности труда в 5 раз;

– рост коэффициента обновления основных производственных фондов по добыче угля с 2,8 до 10,1%;

– снижение численности промышленно-производственного персонала в основном производстве на 74–78% в зависимости от вариантов добычи угля;

– рост стоимости основных производственных фондов в основном производстве в неизменных ценах на 3–12% в зависимости от вариантов добычи угля;

– рост фондоотдачи вводимых основных производственных фондов по добыче угля в неизменных ценах в 2,9 раза;

– рост фондоотдачи основных производственных фондов по добыче угля в неизменных ценах от 12 до 17% в зависимости от вариантов добычи угля;

– рост фондовооруженности труда в основном производстве в неизменных ценах в 4,3 – 4,5 раза в зависимости от вариантов добычи угля;

– рост себестоимости 1 т добычи угля в неизменных ценах на 13–18% в зависимости от вариантов добычи угля.

Темпы изменения основных технико-экономических параметров по вариантам добычи угля сценария умеренного инновационного технологического

развития угольной промышленности по пятилетиям в 2021–2040 гг приведены в табл. 4.

Для реализации сценария умеренного инновационного технологического развития потребуются инвестиции в следующих объемах в номинальных ценах в период 2021–2040 гг.: 1-й вар. – 3056,2 млрд руб.; 2-й вар. – 3293,2 млрд руб.; 3-й вар. – 3619,1 млрд руб.

В неизменных ценах инвестиции составят в этот период: 1-й вар. – 393,0 млрд руб.; 2-й вар. – 425,0 млрд руб.; 3-й вар. – 467,8 млрд руб. По сравнению с 2001–2020 гг. инвестиции в неизменных ценах возрастут по 1-му вар. на 21,4%; по 2-му вар. на 31,2% и по 3-му вар. на 44,5%.

Норма инвестирования в основной капитал сохранится на уровне 11,8%.

Инвестиции в основной капитал в основном производстве в угольной промышленности по вариантам добычи угля сценария умеренного инновационного технологического развития по пятилетиям в 2021–2040 гг. в номинальных ценах и в ценах 2000 г. приведены в табл. 5.

**По сценарию форсированного технологического развития прогнозируется в 2040 г. по сравнению с 2020 г.:**

– рост производительности труда в 6,5 раз;

– рост коэффициента обновления основных производственных фондов по добыче угля с 2,8 до 12,8%;

– снижение численности промышленно-производственного персонала в основном производстве на 80–83% в зависимости от вариантов добычи угля;

– незначительное снижение стоимости основных производственных фондов в основном производстве в неизменных ценах в 1 и 2 вариантах добычи угля на 2,5% и росте стоимости по 3 варианту на 7,9%;

**Таблица 6** Темпы изменения основных технико-экономических параметров по вариантам добычи угля сценария форсированного технологического развития угольной промышленности по пятилетиям в 2021–2040 гг.

Показатели	2025/2000	2030/2025	2035/2030	2040/2035	2040/2020
<b>Производительность труда 1 работника промышленно-производственного персонала (ППП) в основном производстве по всем вариантам</b>	1,443	1,573	1,655	1,731	в 6,5 раза
<b>Численность промышленно-производственного персонала в основном производстве</b>					
1-й вариант	0,709	0,651	0,618	0,603	0,172
2-й вариант	0,726	0,665	0,631	0,602	0,183
3-й вариант	0,742	0,678	0,655	0,611	0,201
<b>Фондовооруженность труда в ценах 2000 г.</b>					
1-й вариант	0,742	0,678	0,655	0,611	в 5,7 раза
2-й вариант	1,426	1,533	1,583	1,608	в 5,6 раза
3-й вариант	1,421	1,523	1,554	1,593	в 5,4 раза
<b>Фондоотдача вводимых основных фондов по добыче угля в ценах 2000 г. по всем вариантам</b>	1,181	1,331	1,445	1,558	в 3,5 раза
<b>Фондоотдача основных фондов по добыче угля в ценах 2000 г.</b>					
1-й вариант	1,008	1,019	1,035	1,079	1,148
2-й вариант	1,012	1,026	1,046	1,077	1,169
3-й вариант	1,016	1,033	1,065	1,087	1,214
<b>Объем основных средств по добыче угля в ценах 2000 г.</b>					
1-й вариант	1,015	1,004	0,988	0,968	0,975
2-й вариант	1,015	1,004	0,988	0,968	0,975
3-й вариант	1,055	1,033	1,017	0,973	1,079
<b>Средняя себестоимость 1 т добычи угля в ценах 2000 г.</b>					
1-й вариант	1,020	1,019	1,021	1,035	1,098
2-й вариант	1,027	1,025	1,026	1,032	1,114
3-й вариант	1,033	1,031	1,036	1,034	1,141

Источник: расчеты авторов

**Таблица 7** Инвестиции в основной капитал в основном производстве в угольной промышленности по вариантам добычи угля сценария форсированного технологического развития по пятилетиям в 2021–2040 гг., млрд руб.

Показатели	2021–2025	2026–2030	2031–2035	2036–2040
<b>1-й вариант</b>				
в номинальных ценах	366,1	568,1	921,4	1574,4
в ценах 2000 г.	57,8	80,3	118,0	182,5
<b>2-й вариант</b>				
в номинальных ценах	418,1	624,4	988,6	1642,6
в ценах 2000 г.	66,0	88,3	126,6	190,4
<b>3-й вариант</b>				
в номинальных ценах	470,2	680,8	1092,8	1755,1
в ценах 2000 г.	74,3	96,3	139,9	203,4

Источник: расчеты авторов

– рост фондоотдачи вводимых основных производственных фондов по добыче угля в неизменных ценах в 3,5 раза;

– рост фондоотдачи основных производственных фондов по добыче угля в неизменных ценах от 15 до 21% в зависимости от вариантов добычи угля;

– рост фондовооруженности труда в основном производстве в неизменных ценах в 5,4–5,6 раза в зависимости от вариантов добычи угля;

– рост себестоимости 1 т добычи угля в неизменных ценах на 9,8–14% в зависимости от вариантов добычи угля.

Темпы изменения основных технико-экономических параметров по вариантам добычи угля сценария форсированного технологического развития угольной промышленности по пятилетиям в 2021–2040 гг. приведены в табл. 6.

Для реализации сценария форсированного инновационного технологического развития потребуются инвестиции в

следующих объемах в номинальных ценах в период 2021–2040 гг.: 1-й вар. – 3430,0 млрд руб.; 2-й вар. – 3673,8 млрд руб.; 3-й вар. – 3998,8 млрд руб.

В неизменных ценах инвестиции составят в этот период: 1-й вар. – 438,5 млрд руб.; 2-й вар. – 471,3 млрд руб.; 3-й вар. – 513,9 млрд руб. По сравнению с 2001–2020 гг. инвестиции возрастут по 1-му вар. на 35,4%; по 2-му вар. на 45,6% и по 3-му вар. на 58,7%.

Норма инвестирования в основной капитал возрастет до 12,8–13% в зависимости от вариантов добычи угля.

Инвестиции в основной капитал в основном производстве в угольной промышленности по вариантам добычи угля сценария форсированного инновационного технологического развития по пятилетиям в 2021–2040 гг. в номинальных ценах и в ценах 2000 г. приведены в табл. 7.

Реализация сценариев умеренного и форсированного технологического развития позволит угольной промышленности с разной скоростью перейти на платформу новой промышленной революции.

## Заключение

Анализ тенденций развития угольной промышленности в ретроспективном периоде 2001–2020 гг. и оценка перспектив ее развития в 2021–2040 гг. с учетом создания и использования принципиально новых инновационных технологий и оборудования позволяет сделать следующие основные выводы:

– технологические изменения в сфере материального производства, которые произойдут в результате применения 3D-принтерных технологий, нанотехнологий и роботизации, приведут к значительному сокращению потребления энергетических ресурсов, включая и угольную продукцию;

– все расширяющееся развитие альтернативных нефти, газу и углю источников энергии (биотопливо, солнечная энергетика и водородная энергетика) будет определять сокращение использования традиционных источников энергии в энергетических целях;

– происходящие в настоящее время структурные изменения экономического уклада экономики развитых стран Америки, Европы и Азии, которые начались в результате возникновения и развития новых прорывных технологий и которые будут активно развиваться в перспективе, вызывают необходимость в коренной перестройке производственной базы угольной промышленности;

– прогнозируемые стадии постепенного расширения применения инновационных технологий и новых источников энергии в различных сферах экономики развитых зарубежных стран показывают, что уровень их использования до 2040 г. будет еще находиться на первоначальной стадии реализации, т. е. в пределах 10–30%. Поэтому в этот период кардинальных изменений в потреблении традиционных энергоресурсов ожидать не следует;

– внешние и внутренние экономические условия позволяют угольной промышленности в предстоящие 20 лет не только осуществить как постепенный, так и ускоренный пе-

реход на инновационный уровень производственной базы, но и увеличивать добычу угля за счет роста экспорта в Азиатско-Тихоокеанский регион;

– в период 2001–2020 гг. угольная промышленность России развивается по нарастающей траектории, однако с преобладанием экстенсивных факторов роста эффективности. Сохранение действующих условий технологического развития отрасли приведет к постепенному снижению темпов роста производительности труда и других экономических параметров в связи с ограниченными возможностями расширения использования экстенсивных факторов;

– интенсивное развитие отрасли путем перехода на принципиально новый технологический и технический уровень, основой которого является цифровая экономика, может осуществляться в двух наиболее важных для отрасли сценариях: умеренного инновационного развития и форсированного инновационного развития;

– при реализации умеренного инновационного развития: производительность труда возрастет за 2021–2040 гг. в 5 раз; коэффициент обновления основных производственных фондов по добыче угля увеличится с 2,8 до 10,1%; численность промышленно-производственного персонала в основном производстве снизится на 77–78%; фондоотдача вводимых основных производственных фондов по добыче угля в неизменных ценах повысится в 2,9 раза; рост фондовооруженности труда в основном производстве в неизменных ценах произойдет в 4,3–4,5 раза;

– при реализации форсированного инновационного развития: производительность труда возрастет за 2021–2040 гг. в 6,5 раз; коэффициент обновления основных производственных фондов по добыче угля увеличится с 2,8 до 12,8%; численность промышленно-производственного персонала в основном производстве снизится на 80–83%; фондоотдача вводимых основных производственных фондов по добыче угля в неизменных ценах повысится в 3,5 раза; рост фондовооруженности труда в основном производстве в неизменных ценах произойдет в 5,4–5,7 раза;

– для реализации умеренного инновационного развития отрасли потребуются инвестиции в период 2021–2040 гг. в номинальных ценах в объеме от 3,1 трлн руб. до 3,6 трлн руб. в зависимости от вариантов добычи угля, а для форсированного инновационного развития от 3,4 трлн руб. до 4 трлн руб.;

– более ускоренное инновационное развитие российской угольной промышленности при переходе к новому технологическому укладу может быть осуществлено за счет:

- проведения структурных институциональных преобразований и реализации мер по их осуществлению;
- разработки и реализации методов государственного стимулирования структурно-инновационной трансформации угольной промышленности;
- разработки и реализации механизмов государственно-частного партнерства, направленных на привлечение финансовых ресурсов для структурно-инновационной трансформации.

Достижение целей инновационного развития российской угольной промышленности при переходе к новому технологическому укладу возможно только в случае качественных изменений бизнес-процессов, реализуемых на предприятиях, таких как:

– активное внедрение элементов промышленной стратегии «Индустрия 4.0», включая:

автоматизацию и роботизацию проведения горных работ, выемки и переработки угля;

технологии геоинформационного обеспечения и системы автоматического управления на горных предприятиях, учитывающих горнотехнические особенности российских месторождений и российские стандарты;

цифровое 3D-моделирование геомеханических процессов при разработке месторождений;

интернет вещей при подземном и открытом способах добычи угля (комплексы «Умная шахта», «Интеллектуальный разрез»), при переработке («Саморегулируемая (умная) фабрика») и транспортировке угля («Умный транспорт»);

– повышение качества производимой угольной продукции за счет дифференциации шахтного и карьерного фондов с выделением групп предприятий по уровню технологического развития;

– организация производственных процессов и освоения новых инновационных технологий на перспективных угледобывающих и перерабатывающих предприятиях;

– повышение уровня научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;

– подготовка кадров в соответствии с требованиями нового технологического уклада;

– изменение подходов к управлению инновационным предприятием, в частности, оценки текущего уровня и стратегии развития, планирования конкурентоспособности, развития процессов интеграции с различными субъектами экономической среды.

#### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

1. Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71451998/>
2. Проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года (редакция от 01.02.2017). – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1920>
3. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года (утвержден Минэнерго России 14 октября 2016 г.). – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/6365>
4. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. – Уголь. 2017. – № 10. – С. 44-50; 2017. – № 11. – С. 46-53; 2018. – № 1. – С. 51-57.
5. Разработка научно обоснованных предложений по стратегическим направлениям технологического развития и импортозамещения в угольной промышленности. / Отчет НИР. – М.: АО «Росинформуголь», 2017. – 421 с.
6. Ефременков А.Б. Разработка научных основ создания геохода / Дисс. докт. техн. наук. – Юрга: ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2016. – 314 с.
7. Официальный сайт АО «СУЭК». – Режим доступа: [http://www.suek.ru/upload\\_shared/ru/pdf/ru/134aab8dc6b6a60d9f44dc0c3e914f.htm?sphrase\\_id=33700](http://www.suek.ru/upload_shared/ru/pdf/ru/134aab8dc6b6a60d9f44dc0c3e914f.htm?sphrase_id=33700)
8. ЕВРАЗ внедрила на шахте «Ерунаковская-VIII» инновационную технологию дегазации угольных пластов / Интернет-портал сообщества ТЭК. Режим доступа: <http://energyland.info/news-show-tek-ugol-163294>
9. Артемьев В.Б., Захаров В.Н., Галкин В.А., Федоров А.В., Макаров А.М. Стратегия, тактика и практика инновационного развития открытых горных работ // Уголь. 2017. – № 12. – С. 6-19.
10. Разработка научно обоснованных предложений по приоритетным направлениям инновационного развития угольной промышленности России. / Отчет НИР. – М.: ФГБОУ ВПО МГУ, 2013. – 176 с.
11. Официальный сайт Компании «ВИСТ Групп» (внедрение информационных систем и технологий). – Режим доступа: <http://www.vistgroup.ru/>
12. Инновационный потенциал угольной отрасли и энергетики. Материалы исследований ЦСР «Северо-Запад». – Режим доступа: <http://www.csr-nw.ru>
13. Кузьмина Т.И. Инновационное развитие угольной отрасли РФ на основе реализации технологического потенциала комплексной переработки углей / Автореф. докт. экон. наук. – М.: НОУ ВПО «Университет Российской академии образования», 2012 – 53 с. – Режим доступа: [http://nzb.rf/catalog/000199\\_000009\\_005016359/viewer/](http://nzb.rf/catalog/000199_000009_005016359/viewer/)
14. Интернет-портал Некоммерческого партнерства «Технологическая платформа твердых полезных ископаемых» (НПТП ТПИ). – Режим доступа: [http://trpi.xn--80arqmbdfl.xn--r1ai/?page\\_id=31](http://trpi.xn--80arqmbdfl.xn--r1ai/?page_id=31)
15. Технологическая платформа «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности». – Режим доступа: <http://science.spb.ru/files/tehpplatform/tehp/presentation/#1>
16. Воскобойник М. П. Стратегия развития угольной промышленности до 2030 года. // Академия энергетики. 2012. – № 4. – С. 14-23.
17. Воскобойник М.П., Рожков А.А. Ретроспективная и прогнозная оценки эффективности технологического развития угольной промышленности России Уголь. 2018. – № 2. – С.48-53.