



**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ
И ИХ ПОТЕНЦИАЛ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

П. М. Маниковский, Г. П. Сидорова

*Забайкальский государственный университет, E-mail: manikovskiymp@yandex.ru,
ул. Кастринская 1, г. Чита 672007, Россия*

Представлен аналитический обзор текущего состояния угольной отрасли России. Рассмотрен вопрос о месте математического моделирования и цифровых технологий в управлении качеством угля и снижении рисков.

Анализ, угольная отрасль, прогноз, цифровые технологии, качество и безопасность угля

**CURRENT STATE OF RUSSIAN COAL MINING ENTERPRISES
AND THEIR POTENTIAL FOR IMPLEMENTING DIGITAL TECHNOLOGIES**

P. M. Manikovsky and G. P. Sidorova

*Transbaikal State University, Mining Department, E-mail: manikovskiymp@yandex.ru,
ul. Kastrinskaya 1, Chita 672007, Russia*

The article presents an analytical review of the current state of the Russian coal industry and discusses the problem of mathematical modeling and digital technologies in coal quality management and risk reduction.

Analysis, coal industry, forecast, digital technologies, coal quality and safety

Угольная промышленность России в настоящее время характеризуется ситуацией устойчивого развития готовых к внедрению инновационных технологий. Подобного мнения придерживается большая часть научного сообщества, связанного с угольной отраслью. Так, в работах [1, 2] выделяется четыре основных этапа развития угольной промышленности (рис. 1).

Первый этап (1988–1993 гг.) — социально-экономический спад, период развала СССР и перехода к рыночной экономике. Второй этап (1994–2002 гг.) — основная фаза реструктуризации отрасли, когда происходило объединение еще функционирующих разрезов и шахт в крупные компании и постепенная нормализация, стабилизация ситуации. К примеру, в этот период на базе предприятий Забайкальского края, Иркутской области и Республики Бурятия сформировалось ОАО “Сибирская Угольная Энергетическая Компания” (СУЭК) — сегодняшний лидер по добыче угля в России. Третий этап (2003–2018 гг.) — наращивание производственных мощностей, выход на мировые рынки и увеличение объемов экспорта угля, т. е. период стабильного экономического роста и развития производств. Ярким примером является компания СУЭК, которая в 2004 г. значительно расширила свое присутствие в Кузбассе, где на своей базе объединила угольные и электроэнергетические активы.

Четвертый период — (ориентировочно 2019–2030 гг.) — этап инновационного развития отрасли. Это время цифровой трансформации, массового внедрения интернета вещей, создания цифровых двойников предприятий, внедрение безлюдных, беспилотных технологий работы, автоматизированных систем управления (далее — АСУ) всеми циклами работы предприятия и других трендов программы “Индустрия 4.0” и следующей за ней “Общество 5.0” [3].

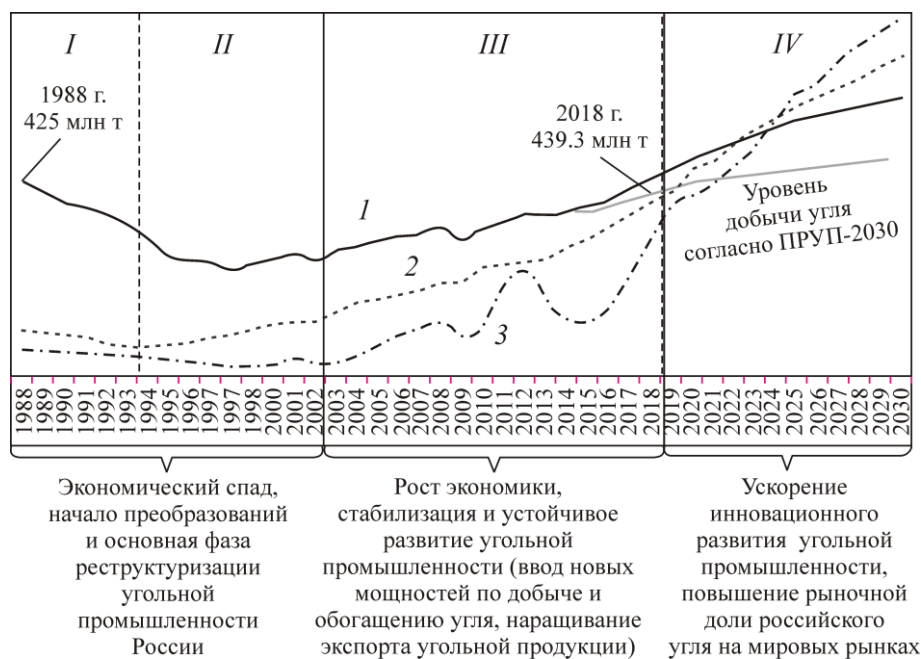


Рис. 1. Фазы развития угольной промышленности России по А. А. Рожкову: I — экономический спад 1988–1993 гг.; II — основная фаза 1994–2002 гг.; III — завершение реструктуризации, стабилизация, выход на траекторию устойчивого развития 2003–2018 гг.; IV — инновационное развитие и цифровая трансформация 2019–2030 гг. (1 — добыча; 2 — производительность; 3 — инвестиции)

Анализ текущего состояния Российской угольной отрасли относительно общемировых тенденций невозможен в отрыве от исторических событий последних десятилетий и прогнозных оценок аналитических агентств, изучающих мировой рынок угля и основные характеристики угольных производств. Так, например, АО Росинформуголь приводит два сценария развития угольной промышленности России на период до 2035 г. (рис. 2).

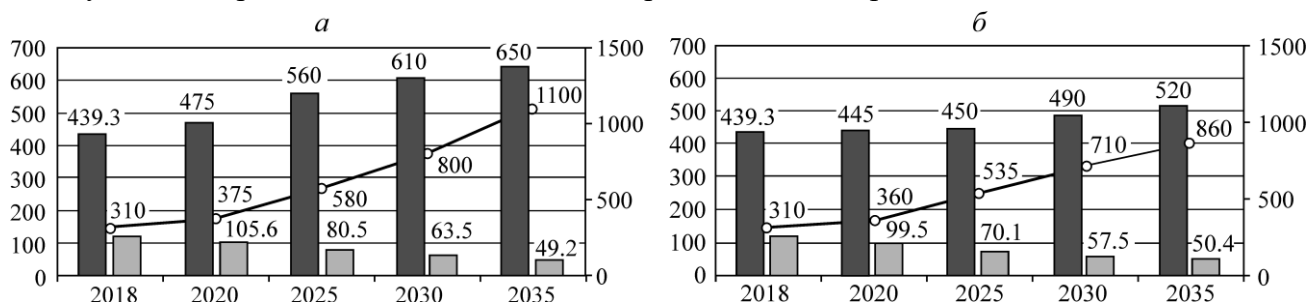


Рис 2. Сценарии инновационно-технологического развития угольной промышленности России на период до 2035 г. по А. А. Рожкову: а — ускоренного; б — минимального (■ — добыча угля, млн т; ■ — среднесписочная численность работников в основном производстве, тыс. чел. —○— производительность труда на 1 занятого в основном производстве, т/чел. мес.)

Вне зависимости от того как будет развиваться отрасль четко обозначены тенденции на увеличение производительности труда из расчета на 1 рабочего, общее сокращение численности персонала в связи с глобальной цифровизацией процессов угледобычи и рост объемов производства угля. Эти тренды представлены в проекте программы развития угольной промышленности России на период до 2035 г., которая в целом одобрена на заседании Правительства 27 февраля 2020 г. и в других документах [4–6]. Согласно приведенным аналитическим отчетам, отрасль будет стабильно развиваться несмотря на тренд к сокращению числа занятых, увеличению производительности труда из расчета на одного сотрудника и повышения доли вырабатываемой “зеленой” энергии.

На территории России расположено 22 угольных бассейна и 141 отдельное месторождение. Свыше 2/3 разведанных запасов сосредоточены в пределах двух угольных бассейнов — Канско-Ачинского бурогоугольного бассейна (Красноярский край, Кемеровская область) и Кузнецкого каменноугольного бассейна (Кемеровская область). По итогам 2018 г. добыча угля в России достигла рекордного значения в 439.3 млн т, увеличившись на 6.8% к уровню 2017 г. Более половины (58.1%) российской добычи обеспечивает Кузнецкий угольный бассейн. На Канско-Ачинский приходится 9.2% добычи, на Печорский — 2.3%, на Донецкий — 1.2%. Вклад других угольных бассейнов составляет 29.2% [7, 8].

Крупнейшие энергетические агентства не видят большого потенциала угля в долгосрочной перспективе. Прогноз Международного энергетического агентства МЭА (Energy Information Administration EIA) предполагает, что общемировое потребление угля до 2050 г. будет стагнировать [9]. Несмотря на это показатели Российской угольной отрасли продемонстрировали высокий темп роста за последние 15 лет. Основным драйвером роста добычи угля в стране явился экспорт, который за 2010–2018 гг. увеличился на 80%, обеспечив рост производства угля на 36%. Ожидается, что в период до 2030–2040 гг. такая ситуация сохранится (рис. 3).

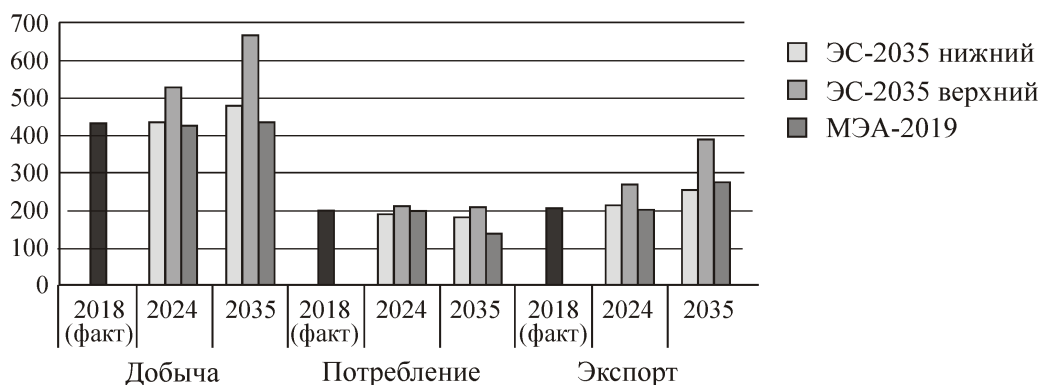


Рис. 3. Основные показатели российской угольной отрасли и прогноз, согласно энергетической стратегии, на период до 2035 г. (ЭС-2035)

Место математического моделирования и цифровых технологий в управлении качеством угля и снижении рисков. Возросшая актуальность применения в горнорудном производстве цифрового математического моделирования обусловлена вызовом времени. Опираясь на тенденции, преобладающие в угольной отрасли, можно с уверенностью сказать, что угольщики должны качественно повысить уровень безопасности использования угля, понизив экологические риски, либо разработать некое инновационное применение угля с целью извлечения из него энергии. Если этого не случится в долгосрочной перспективе до 2050 г. и далее угольная отрасль обречена на стагнацию.

Говоря об инновационном извлечении энергии из угля, необходимо отметить, что подобные исследования проводятся практически во всех развитых странах мира [10, 11]. Но в рамках данной работы рассматривается, какое место цифровое математическое моделирование занимает в управлении качеством угольной продукции и как созданные на его основе цифровые технологии могут оказать влияние на качество получаемого угля, сэкономят ресурсы на отработке месторождения, чтобы затем часть из них направить на повышение качества производимой продукции.

Внедрение цифрового моделирования на любом горном предприятии, не только угледобывающем — это комплексный и поэтапный процесс. Все данные систематизируются в единую базу данных, с которой посредством горно-геологической информационной системы (ГГИС) работает инженер-проектировщик. ГГИС может внедряться как с начала работы предприятия,

так и на действующем объекте. Рынок ГГИС на сегодняшний день разнообразен и представлен, в основном, зарубежными продуктами: ГГИС Micromine, Surpac, Datamine и др, из отечественных самым ярким является ГГИС MineFrame. Пример из базы данных ГГИС Micromine 2020.5 по одному из угольных месторождений приведен ниже.

	A	B	C	D	E
1	Скважина	X	Y	Z	Глубина
2	C001	4190.2	5207.784	480.6693	123.12
3	C002	4376.655	5219.865	488.3646	119.33
4	C003	4397.547	4791.103	480.4928	103.25
5	C004	4399.145	5010.09	488.3152	96.62
6	C005	4822.416	4967.411	480.7375	100
7	C006	4606.349	4769.871	487.0374	89.28
8	C007	4722.15	4890.824	492.0534	100

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Скважина	От	До	Интервал	ASH, %	VM, %	GCV, ккал/кг	Пласт	X	Y	Z
2	C001	43.05	48.34	5.29	15.2	40.7	6100	S4	4190.2	5207.784	434.9743
3	C001	52.19	59.9	7.71	20.1	37.6	6021	S3C	4190.2	5207.784	424.6243
4	C001	69.53	72.2	2.67	23.7	37.4	5740	S2T	4190.2	5207.784	409.8043
5	C001	85.74	89.96	4.22	24.6	43	5740	S2B	4190.2	5207.784	392.8193
6	C001	96.8	108.07	11.27	24.1	37.8	5794	S1TM	4190.2	5207.784	378.2343
7	C001	110.99	118.12	7.13	22.8	37.8	5747	S1B	4190.2	5207.784	366.1143
8	C002	41.1	46.91	5.81	17.8	40.8	6108	S4	4376.65	5219.865	444.3596

Здесь “От” и “До” — высотные отметки интервалов; ASH — зольность; VM — выход летучих веществ; GCV — высшая теплота сгорания; Пласт — индекс пласта к которому относится соответствующий интервал; X — координата Восток; Y — Север; Z — высотная отметка, “Глубина” максимальная — глубина скважины. Следует подчеркнуть, что примером послужило угольное месторождение, но подобная методика применима и для других видов месторождений полезных ископаемых: нерудных и рудных. Вместо зольности влажности и высшей теплоты сгорания будут представлены полезные элементы — металлы или неметаллы и их средневзвешенное содержание на интервале опробования.

ГГИС позволяет визуализировать в 2D- и 3D-среде модели любых горно-геологических объектов: скважин, геологических разрезов, интервалов опробования полезного ископаемого, стратиграфии пластов, модели рудных тел: каркасные, и как один из основных целей этапов проектирования — блочные и т. д. На основе полученных моделей ГГИС можно сформировать оптимальную оболочку карьера, используя алгоритм Лерча–Гроссмана, если ГГИС применяется на открытых горных работах осуществить дальнейший комплекс проектных работ для определения полного цифрового двойника предприятия. ГГИС также позволяет отстроить горные выработки при проектировании подземных горных работ и создать цифровой двойник подземного рудника. При этом предприятию не нужно содержать широкий штат геологов и проектировщиков для разработки горно-графической документации, достаточно небольшого штата компетентных инженеров, которые при использовании цифровых двойников средствами ГГИС могут поддерживать и развивать горные работы. Таким образом, достигается экономия на содержании штата сотрудников. Точность цифровых двойников месторождений также дает возможность максимально минимизировать ошибки проектирования.

Получив полноценный, обновляемый во времени и пополняемый всеми горно-геологическими данными по мере их поступления цифровой двойник предприятия, руководство компании может приступить к внедрению АСУ — автоматизированной системы управления предприятием. К настоящему времени широко распространены АСУ ГТК — автоматизированные системы управления горнотранспортным комплексом, которые позволяют на основе имеющихся блочных и других моделей предприятия управлять большей частью производственных процессов. Существует несколько десятков успешных внедрений АСУ на горнорудных предприятиях России, таких как: АСУ ГТК, АСУ буровыми работами, системы предотвращения столкновений, системы контроля устойчивости бортов, АСУ конвейерных линий, АСУ железнодорожным транспортом и многие другие.

Наиболее известные компании, предлагающие подобные решения — Wenco, Pitram от Micromine и отечественная компания Вист-Групп. Примеры автоматизации цифровых производств можно найти на сайтах компаний [12, 13]. Отметим только, что внедрение АСУ ГТК Wenco на одном из угольных предприятий Муларбен, расположенном на западных угольных месторождениях Нового Южного Уэльса, позволило увеличить производительность по углю на один самосвал с 294 до 305 т за смену, что в конечном итоге дало прирост прибыли более 1 млн дол. в год [12].

Блочная модель рудного тела или пласта дает возможность точно оценить содержание полезного компонента на различных участках карьера/рудника. В результате АСУ позволяет выделить четкие границы добычного участка с некоторым содержанием полезных ископаемых и сформировать задание на добычу в пределах определенного системой контура, который видит машинист экскаватора. Этот алгоритм предоставляет АСУ и оператору (инженеру), который работает с ней, осуществлять контроль текущего процентного содержания необходимых компонентов по каждому складу (или штабелю в отдельности), а также в рудном потоке на фабрику в реальном режиме времени. Дополнительно позволяет проводить мониторинг и автоматический пересчет показателей по складу/фабрике при рейсах автосамосвалов, контроль общей массы на складе (штабеле), контроль выхода процентного содержания за пределы допустимого диапазона. Как результат — получение высококачественного сырья, которым в дальнейшем можно управлять за счет процессов обогащения и т. д. Этому дополнительно будут способствовать финансовые ресурсы, которые были сэкономлены на этапе внедрения ГГИС в процессе работы предприятия.

ВЫВОДЫ

В настоящее время угольная отрасль России и мира в целом находится в ситуации энергетического перехода. Повышается доля экологичных, “зеленых” источников энергии и постепенно снижается роль угольной промышленности в своем текущем виде. Если в краткосрочной или среднесрочной перспективе не будет найден более экологичный способ извлечения энергии из угля — ситуация постепенной стагнации отрасли неизбежна. В этой связи особенно актуальны технологии и решения, которые могут повысить качество угольной продукции известных производств, либо предложить инновационные методы переработки угля, которые помогут обеспечить безопасность использования угольного топлива с точки зрения его влияния на окружающую среду. В работе приведено описание связки двух цифровых систем — ГГИС и АСУ, результатом внедрения которых на различных горных предприятиях может стать как повышение качества сырья на этапе добычи, так и высвобождение финансовых потоков, которые могут быть перенаправлены на повышение качества этой продукции в результате более глубокой ее переработки (обогащения). В дальнейшем такой подход неизбежно приведет к дополнительной прибыли горного предприятия, о чем свидетельствуют повсеместные примеры мирового внедрения подобных систем и их отдельных модулей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Rozhkov A. A., Solovenko I. S., Korkina T. A. et al.** Engineering and technical composition of the Russian coal industry: retrospective, current state, forecast, *Coal*, 2020, no. 4, pp. 16–25. [**Рожков А. А., Соловенко И. С., Коркина Т. А. и др.** Инженерно-технический состав угольной отрасли России: ретроспектива, современное состояние, прогноз // *Уголь*. — 2020. — № 4. — С. 16–25.]
2. **Rozhkov A. A.** Regulation of social and economic consequences of industrial reconstruction (for example, coal industry), Moscow, “Rosinformugol”, Corp., 2016, 290 pp. [**Рожков А. А.** Регулирование социально-экономических последствий промышленной реструктуризации (на примере угольной отрасли). — М.: АО Росинформуголь, 2016. — 290 с.]
3. **Plakitin Yu. A. and Plakitina L. S.** Digitalization of the Russian coal industry economy — from “Industry 4.0” to “Society 5.0”, *Mining Industry*, 2018, no. 4, pp. 22–30. [**Плаkitин Ю. А., Плаkitина Л. С.** Цифровизация экономики угольной промышленности России — от “Индустрии-4.0” до “Общества 5.0” // *Горная промышленность*. — 2018. — № 4. — С. 22–30.]
4. **Draft program for the development of the Russian coal industry development for the period until 2035** [Internet resource]. Website of the Ministry of Energy of the Russian Federation URL: <http://minenergo.gov.ru/system/download/433/110749> (accessed 10/06/2020). [**Проект** программы развития угольной промышленности России на период до 2035 г. [Электронный ресурс]. Сайт Министерства энергетики Российской Федерации URL: <http://minenergo.gov.ru/system/download/433/110749> (дата обращения 10.06.2020).
5. **Report on the results of the expert-analytical event “Analysis of the reproduction of the mineral resource base of the Russian Federation in 2015–2019”** [Internet resource]. Website of the Accounts Chamber of the Russian Federation (accessed 10/06/2020). [**Отчет** о результатах экспертно-аналитического мероприятия “Анализ воспроизводства минерально-сырьевой базы Российской Федерации в 2015–2019 гг.” [Электронный ресурс]. Сайт счетной палаты Российской Федерации URL: audit.gov.ru/upload/iblock/b99/pdf (дата обращения 10.06.2020).]
6. **Decisions** adopted at a Government meeting on February, 27, 2020. [Internet resource]. Website of the Government of the Russian Federation URL: <http://government.ru/news/39047/> (accessed 10/06/2020).
7. **Development Strategy for the Mineral Resources Base of the Russian Federation until 2035** (Approved by the order of the Government of the Russian Federation of December 22, 2018 N 2914-p) [Internet resource]: official website “Consultant Plus”. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314605/736a2c0a27e1dc4f2e5afc216c57f312c6b75762/ (accessed 13/06/2020). [**Стратегия** развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г. (Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. N 2914-п) [Электронный ресурс]. Официальный сайт компании “КонсультантПлюс” URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314605/736a2c0a27e1dc4f2e5afc216c57f312c6b75762/ (дата обращения 13.06.2020).]
8. **Statistical Digest of the Fuel and Energy Complex of Russia-2018** (Release June 2019) [Internet resource]. Analytical Centre under the Government of the Russian Federation/ Official website. URL: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/22922.pdf> (accessed 14.06.2020). [**Статистический сборник** ТЭК России-2018 (вып. июнь 2019) [Электронный ресурс]. Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. Официальный сайт. URL: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/22922.pdf> (дата обращения 14.06.2020).]
9. **Coal. Specialties and conditions of the market.** [Internet resource]. Official website of “BrokerCreditService Company”, LLC, URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/ugol-osobennosti-i-perspektivy-rynka> (accessed 13/06/2020). [**Уголь**. Особенности и перспективы рынка [Электронный ресурс]. Официальный сайт ООО “Компания Брокеркредитсервис” URL: <https://bcs-express.ru/novosti-i-analitika/ugol-osobennosti-i-perspektivy-rynka> (дата обращения 13.06.2020).]

10. **Pat.** 2095397C1 RF. A method of processing solid fuel to produce high calorific gas or synthetic gas, I. A. Yavorsky, A. I. Yavorsky, Vyull. Izobret., 1997, no. C 10 J 3/00. [**Пат.** 2095397 РФ. Способ переработки твердого топлива с получением высококалорийного газа или синтез-газа / И. А. Яворский, А. И. Яворский // Оpubл. в БИ. — 1997. — № С 10 J 3/00.]
11. **Pat.** 2287010C2 RF. Environmentally friendly way to get energy from coal (options), A. Calderon, T. J. Lobbis (US), 2006. [**Пат.** 2287010С2 РФ. Экологически чистый способ получения энергии из угля (варианты) / А. Калдерон (US), Т. Д. Лобис (US), 2006.]
12. **Wenco** mining systems [Internet Resource]. Official website Wenco (Hitachi Construction Machinery). URL: <https://www.wencomine.com/ru/> (accessed 18/06/2020). Wenco mining systems [Электронный ресурс]. Официальный сайт компании Wenco (Hitachi Construction Machinery). URL: <https://www.wencomine.com/ru/> (дата обращения 18.06.2020).
13. **Digital technologies** for mining industry enterprises [Internet resource]. Official website of the Company Whist, Digit Group. URL: <https://vistgroup.ru> (accessed 18/06/2020). [**Цифровые технологии** для горнодобывающих предприятий [Электронный ресурс]. Официальный сайт компании Вист, группа Цифра. URL: <https://vistgroup.ru> (дата обращения 18.06.2020).]