

Прогнозные оценки масштабов применения новых технологий в угольной отрасли на период до 2040 года

Ю.А. Плаkitкин, Л.С. Плаkitкина✉, К.И. Дьяченко

Институт энергетических исследований Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация
✉luplak@rambler.ru

Резюме: На развитие угольной промышленности на период до 2040 г. будет оказывать большое воздействие реализуемая в настоящее время во многих странах мира четвертая промышленная революция и Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Основными направлениями этих проектов являются: цифровизация, создание в угольной отрасли сети промышленного Интернета, разработка безлюдных роботизированных технологий добычи и переработки угля, основанных на применении производственных киберфизических систем. В ходе проведения исследования разработаны методические положения по осуществлению прогнозной оценки масштабов применения новых технологий по процессам горного производства. Были проведены модельные расчеты, в результате которых построены зависимости для каждой из перспективных технологий, устанавливающих минимальные и максимальные границы масштабов их применения в прогнозном периоде для инновационного и консервативного сценарных вариантов. Исследованы такие процессы горного производства, как разведка запасов и планирование горных работ; добыча угля; переработка угля и отходов; транспортирование угля, породы и грузов. В качестве примера в данной статье представлена прогнозная динамика доли применения технологий открытой и подземной добычи в угольной отрасли России. Оценка прогнозных коридоров (доли добычи) применения новых технологий приведены в области добычи угля. Дана сравнительная характеристика масштабов использования технологий, составляющих «ядро» технологического развития угольной отрасли по основным процессам горного производства. Разработан прогноз роста производительности труда в угольной отрасли России в зависимости от масштабов применения новых технологий. Прогнозная динамика возможных масштабов использования отраслевых технологий, дифференцированных как по процессам горного производства, так и по сценарным вариантам технологического развития отрасли, позволяет формировать технологические «сигналы» для угольных компаний. Эти «сигналы» помогают угольному бизнесу и государственному регулятору контролировать скорость и направление необходимых технологических преобразований, соответствующих темпам и пропорциям глобального инновационного процесса.

Для цитирования: уголь, добыча угля, переработка угля, прогнозный коридор, сценарный вариант, технологические сигналы, угольная промышленность, угольная отрасль, цифровизация, цифровая экономика, прогнозная динамика

Для цитирования: Плаkitкин Ю.А., Плаkitкина Л.С., Дьяченко К.И. Прогнозные оценки масштабов применения новых технологий в угольной отрасли на период до 2040 года. Горная промышленность. 2019;(5):10–16. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-05-10-16.

Projections of New Technology Utilization Scales in Coal Industry for the Period until 2040

Yu.A. Plakitkin, L.S. Plakitkina✉, K.I. Dyachenko

The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
✉luplak@rambler.ru

Abstract: The Fourth Industrial Revolution which is currently taking place in many countries and the Digital Economy in the Russian Federation Programme will have a strong impact on the development of the Coal Industry for the period until 2040. The main trends in these projects include digitalisation, introduction of the Industrial Internet in the Coal Industry, development of unmanned robotic technologies that are based on industrial cyber physical systems in coal mining and processing. The study involved the development of methodological provisions to project the new technology utilization scales in the mining processes. The performed model calculations were used to plot dependencies for each of the advanced technologies that establish the minimum and maximum boundaries of their utilization during the projection period for the innovative and conservative scenarios. The following mining processes were studied: exploration and mine planning, coal production, coal and waste processing; transportation of coal, waste rock and goods. The paper provides an example of forecasting dynamics of the utilization share

of opencast and underground mining technologies in the Russian Coal Industry. Forecast corridors (share of production) for employment of new technologies are presented for coal mining applications. Comparison is made of the utilization scales of the technologies that are critical for the technological development of the Coal Industry with respect to the basic mining processes. A forecast of labour productivity growth in the Russian Coal Industry is provided as a function of the new technology utilization scale. Forecasting dynamics of possible scales in utilization of the industry's technologies, differentiated with respect to both the mining processes and the development scenarios in the industry, makes it possible to create technology-oriented 'beacons' for coal mining companies. These 'beacons' should help the coal producers and the state regulator to control the rates and trends of the required technological transformations that would meet the pace and the degree of the global innovation process.

Keywords: coal, coal mining, coal processing, forecast corridor, scenario option, process signals, coal mining industry, coal sector, digitalisation, digital economics, forecasting dynamics

For citation: Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S., Dyachenko K.I. Projections of New Technology Utilization Scales in Coal Industry for the Period until 2040. Russian Mining Industry. 2019;(5):10–16. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2019-05-10-16.

Введение

Прогнозы технологического развития угольной промышленности России на длительную перспективу, разработанные в Институте энергетических исследований РАН, согласно структуре проведенных исследований, предусматривали выполнение трех этапов.

Первые два из них включают:

- прогнозы добычи и цен угля в соответствии со сценарными уровнями мировой цены нефти на период до 2040 г. [1];
- разработку этапов технологического развития угольной промышленности России на период до 2040 г. [2].

Прогнозные оценки масштабов применения новых технологий в угольной отрасли на период до 2040 г. явились третьим этапом исследований по прогнозам технологического развития угольной промышленности России на длительную перспективу, рассмотренным в настоящей статье.

На развитие угольной промышленности России на период до 2040 г. будут оказывать большое воздействие осуществляемый ныне во многих странах мира проект четвертой промышленной революции и Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»¹ [3–5], основными направлениями которых для угольной промышленности являются:

- цифровизация;
- создание в угольной отрасли сети промышленного Интернета;
- разработка безлюдных роботизированных технологий добычи и переработки угля, основанных на применении производственных киберфизических систем.

Методические положения по осуществлению прогнозной оценки масштабов применения новых технологий по процессам горного производства

Прогнозные оценки применения новых технологий по процессам горного производства в угольной отрасли осуществлены для двух сценарных вариантов:

- инновационного;
- консервативного.

Рассматриваемые сценарии (см.: [1]) характеризуются существенным отличием по объемам добычи и использования инноваций.

В случае реализации *инновационного сценарного варианта* предусматриваются стабилизация и системное снижение объемов добычи угля. Согласно намеченным этапам технологического обновления отрасли до 2040 г. ожидается почти полная замена основных фондов на качественно иные – высокопроизводительные. В результате этого изменится парадигма динамики фондоотдачи от-

расли: от многолетнего снижения она должна «перейти» к системному росту.

В *консервативном сценарном варианте* в связи с ростом цен на энергоносители, продолжится тенденция снижения эффективности капитальных вложений и основных фондов.

В целом инновационный сценарий в отличие от консервативного соответствует намерениям государственного регулятора осуществить переход от экономики ресурсного типа к интеллектуальной инновационной экономике. При этом используемый в расчетах перечень новых технологий соответствовал технологиям, ранее приведенным в сформированных авторами статьи этапах технологического развития угольной отрасли (см.: [2; 6]).

Прогнозные масштабы применения новых технологий в период до 2040 г. получены с учетом реализации разработанной в ИНЭИ РАН экспертно-аналитической модели оценки технологического развития угольной промышленности («ЭКСаНуголь»)².

Масштабы применения новых технологий оценивались в долях (процентах) от объемов добычи на каждый год прогнозного периода. Для технологий, используемых исключительно только при подземном (открытом) способах добычи угля, масштабы их применения оценивались относительно соответствующих объемов подземной или открытой добычи угля.

Масштабы применения новых технологий по основным процессам переработки угля и отходов оценивались, соответственно, относительно объемов переработки.

Невозможность однозначных оценок объемов использования новых технологий, особенно на глубоких горизонтах прогнозного периода, обусловила в процессе проведения расчетов формирование так называемых прогнозных коридоров их возможных масштабов применения. Эти коридоры получены в виде экспертно сформированных интервальных значений.

В процессе оценок все технологии делились на две крупные группы:

- первая группа – базовые технологии реализации проекта «Индустрия 4.0», составляющие «ядро» технологического развития отрасли;
- вторая группа – «периферийные» технологии, дополняющие технологии, входящие в «ядро» технологического развития отрасли.

² См.: BP Statistical Review of World Energy. 2019. 68th ed. 61 p. Available at: https://www.bp.com/content/dam/bp-country/ru_ru/documents/bp-stats-review-2019-full-report.pdf [Accessed: 29.04.2019]; Key World Energy Statistics 2017. DOI: 10.1787/key_energ_stat-2017-en; Coal Information 2018. DOI: 10.1787/coal-2018-en; Статистические данные «Добыча угля». ЦДУ ТЭК; 2019. 200 с.; Статистические данные «Финансово-экономические показатели». ЦДУ ТЭК; 2018. 56 с.; Energy Prices & Taxes. Vol. 2018. Iss. 4. 438 p. DOI: 10.1787/energy_tax-v2018-4-en; Среднесрочный прогноз социально-экономического развития отраслей ТЭК на 2018 год и плановый период 2019 и 2020 годов. Режим доступа: http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/1/445/?PAGEN_1=2 [Дата обращения: 29.04.2019], а также [7].

¹ Программа «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р. Режим доступа: <http://government.ru/govworks/614/events/> [Дата обращения: 29.04.2019].

При этом часть «периферийных» технологий оценивались, как технологии, имеющие достаточно сильную связь с технологиями «ядра», другая часть – соответственно, как технологии, менее связанные с технологиями, входящими в «ядро».

В качестве базовых технологий проекта «Индустрия 4.0», составляющих «ядро» технологической трансформации отрасли, приняты:

- цифровизация;
- Интернет вещей;
- производственные киберфизические системы.

Динамика масштабов их внедрения в хозяйственную практику угольной отрасли соответствует ранее приведенным объемам базовых технологий, обуславливающих повышение показателей эффективности функционирования отрасли в прогнозном периоде. Оценка «периферийных» технологий увязывалась с динамикой масштабов применения базовых технологий, соответствующих консервативному и инновационному вариантам развития угольной отрасли.

Расчетные масштабы технологических преобразований угольной отрасли в предстоящем прогнозном периоде (до 2040 г.) были дифференцированы по основным процессам горного производства (см.: [2; 6]):

- разведка запасов и планирование горных работ;
- добыча угля;
- переработка угля и отходов;
- транспортирование угля, породы и грузов.

Оценка масштабов применения новых технологий, входящих как в группу «ядра», так и в группу «периферийных» технологий, проводилась по каждой из вышеприведенной совокупности основных производственных процессов.

Экспертные оценки «коридоров» масштабов применения новых технологий в прогнозном периоде корректировались согласно установленным в данном случае логистическим кривым, аппроксимирующим динамику экспертных оценок, соответственно, на нижнем и верхнем уровнях расчетных диапазонов.

Результаты реализации вышеприведенных модельных расчетов для инновационного и консервативного вариантов представлены в табл. 1.

Для каждой из технологий, приведенных в инновационном и консервативном вариантах, построены зависимости, устанавливающие минимальные и максимальные границы масштабов их применения в прогнозном периоде. Эти зависимости имеют вид:

$$y = \frac{r * f * e^{[g*(t-2025)]}}{r + f * [(e^{g*(t-2025)}) - 1]}$$

где y – доля технологий соответственно в общем объеме добычи открытым или подземным способом, а также в общем объеме переработки угля и транспортировании, %; t – время, соответствующее прогнозному году; r, f, g – расчетные коэффициенты полученной зависимости (приведены в табл. 1).

Прогнозная оценка масштабов применения новых технологий в угольной отрасли

Прогнозная оценка масштабов применения новых технологий в угольной отрасли в зависимости от вариантов развития была осуществлена по следующим основным процессам горного производства (см.: [2; 6]): разведка запасов и планирование горных работ; добыча угля; переработка угля и отходов; транспортирование угля, породы и грузов.

Таблица 1
Прогнозная оценка масштабов (доли от объемов добычи угля) применения новых технологий в угольной отрасли по инновационному (в числителе) и консервативному (в знаменателе) сценарным вариантам

Table 1
Projections of new technology utilization scales (a share of coal production volumes) in the coal industry under the innovative (numerator) and conservative (denominator) scenarios

Технологии по производственным процессам / Technologies classified by industrial processes	$y = \frac{r * f * e^{[g*(t-2025)]}}{r + f * [(e^{g*(t-2025)}) - 1]}$, %								
	Годы / Years, t					Коэффициенты логистических зависимостей / Coefficients of logistic dependences			
	2020	2025	2030	2035	2040	r	g	f	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
I. Добыча угля									
Минимум	11/4	31/13	57/30	73/45	78/52	80,6/54,3	0,3/0,3	31,0/12,8	
Максимум	15/6	42/18	72/39	86/55	89/62	90,4/64,2	0,3/0,3	42,1/17,8	
1.1. Технологии ведения горных работ с применением высокопроизводительного самоходного оборудования									
Минимум	5/1	15/8	19/18	20/20	20/20	20,0/20,0	0,5/0,5	15,1/8,5	
Максимум	5/1	20/10	29/25	30/29	30/30	30,0/30,0	0,5/0,5	20,2/10,2	
1.2. Технологии геоинформационного обеспечения и системы автоматического управления на горных предприятиях									
Минимум	22/10	58/33	87/69	97/91	99/98	100,0/100,0	0,3/0,3	57,6/33,0	
Максимум	30/13	65/41	89/76	97/98	99/99	100,0/100,0	0,3/0,3	65,4/40,8	
1.3. Интеграция IT систем									
Минимум	24/11	51/31	76/60	88/80	92/89	94,0/92,0	0,3/0,3	51,431,3	
Максимум	29/12	65/40	90/77	98/94	99/99	100,0/100,0	0,3/0,3	65,5/40,0	
1.4. Облачные технологии									
Минимум	16/8	46/25	76/55	89/79	92/88	93,0/92,0	0,3/0,3	46,1/24,9	
Максимум	19/9	58/32	89/70	98/92	100/98	100,0/100,0	0,4/0,3	57,6/31,5	
1.5. Большие данные и аналитика									
Минимум	20/3	52/11	79/36	87/66	89/80	90,0/85,0	0,3/0,3	52,4/11,5	
Максимум	22/3	64/14	91/44	98/79	100/94	100,0/99,0	0,4/0,3	63,7/13,9	
1.6. Геймификация процессов									
Минимум	16/2	46/9	76/30	87/60	89/75	90,0/81,0	0,3/0,3	46,4/91	
Максимум	18/3	57/11	89/37	98/73	100/91	100,0/98,0	0,4/0,3	57,4/11,4	

1.7. 3D моделирование месторождений								
Минимум	18/8	52/27	84/61	96/86	99/96	100,0/99,0	0,3/0,3	51,8/27,1
Максимум	34/12	71/45	92/82	98/96	100/99	100,0/100,0	0,3/0,4	71,0/44,9
1.8. Моделирование и стимуляция, цифровое проектирование								
Минимум	9/1	28/3	61/14	86/42	96/64	90,0/72,0	0,3/0,3	28,0/2,8
Максимум	13/1	47/7	84/27	97/63	99/85	100,0/92,0	0,4/0,4	47,2/6,8
1.9. Планирование и анализ онлайн								
Минимум	8/3	29/12	65/37	89/69	97/87	100,0/95,0	0,3/0,3	29,4/12,3
Максимум	17/8	53/28	86/64	97/89	99/97	100,0/100,0	0,3/0,3	53,1/28,1
1.10. Цифровизация горнодобычного, горноподготовительного оборудования								
Минимум	18/9	55/31	81/65	88/84	90/89	90,0/90,0	0,4/0,3	54,8/31,1
Максимум	16/7	66/37	95/82	99/97	100/100	100,0/100,0	0,5/0,4	65,7/37,4
1.11. Цифровая Интернет-интеграция пространственных данных								
Минимум	10/0	42/1	77/5	88/21	90/42	90,0/52,0	0,4/0,4	41,5/08
Максимум	16/0	66/2	95/9	99/35	100/66	100,0/80,0	0,5/0,4	65,7/1,7
1.12. Использование криволинейной разработки шахтных полей								
Минимум	5/1	17/3	42/6	73/10	91/13	100,0/17,1	0,3/0,2	16,5/2,7
Максимум	11/2	31/4	63/9	86/16	96/24	100,0/38,2	0,3/0,2	31,4/4,1
1.13. Использование систем пластовой навигации								
Минимум	5/2	21/8	60/29	89/65	98/87	100,0/96,0	0,3/0,3	21,2/8,2
Максимум	8/4	40/17	83/51	97/84	100/97	100,0/100,0	0,4/0,3	40,2/16,6
1.14. Автоматизация и роботизация проведения выработок на основе горнопроходческих машин нового класса – геоходов								
Минимум	4/3	27/15	67/43	78/69	80/78	80,0/80,0	0,5/0,3	33,7/14,7
Максимум	10/5	41/18	82/50	97/82	99/95	100,0/100,0	0,4/0,3	41,1/18,4
1.15. Инновационные виды взрывчатых веществ								
Минимум	7/3	21/10	42/26	54/44	59/53	60,0/57,0	0,3/0,3	21,1/9,7
Максимум	7/4	31/15	59/39	68/60	70/68	70,0/70,0	0,4/0,3	30,8/14,6
1.16. Технологии «смарт майнинг» безлюдной выемки								
Минимум	6/0	24/0	57/2	75/8	79/20	80,0/29,7	0,4/0,3	24,2/0,4
Максимум	9/0	31/1	67/4	90/12	98/25	100,0/38,9	0,3/0,3	30,8/1,0
1.17. Автоматизация и роботизация безлюдной бурошнековой выемки								
Минимум	2/1	7/2	17/3	22/6	24/8	24,0/8,9	0,4/0,2	7,3/1,5
Максимум	3/1	9/2	20/4	27/7	29/9	30,0/11,7	0,3/0,2	9,2/1,9
1.18. Безлюдная выемка угля скреперо-стругвыми роботизированными комплексами								
Минимум	2/0	10/0	23/0	30/0	32/0	32,0	0,4	9,7
Максимум	4/0	12/0	27/0	36/0	39/0	40,0	0,3	12,3
1.19. Включение в сеть «Интернет вещей»								
Минимум	6/3	22/10	52/30	75/56	82/69	85,0/75,0	0,3/0,3	22,3/10,2
Максимум	11/5	41/19	79/50	95/81	99/95	100,0/100,0	0,3/0,3	40,7/19,2
1.20. Создание киберфизических производственных систем на открытых и подземных работах								
Минимум	9/2	22/5	45/9	70/15	87/19	85,0/25,0	0,2/0,2	21,9/5,0
Максимум	10/3	29/6	60/11	84/18	95/25	96,0/34,0	0,3/0,2	28,6/5,8
1.21. Использование автономных альтернативных источников энергии								
Минимум	12/5	35/17	67/42	87/70	95/85	98,0/92,0	0,3/0,3	35,1/17,2
Максимум	16/7	53/27	87/64	98/89	100/97	100,0/99,0	0,4/0,3	52,6/26,6
1.22. Пространственно-планировочные решения, адаптированные к применению автономных киберфизических систем								
Минимум	3/0	10/0	27/0	48/0	61/0	68,0	0,3	10,2
Максимум	7/0	20/0	44/0	69/0	83/0	91,0	0,2	20,1
1.23. Планирование отработки автономными производственными блоками (блок-стволами) небольшой мощности								
Минимум	0/0	1/1	9/5	41/17	69/33	76,1/47,0	0,4/0,3	1,2/1,4
Максимум	0/0	2/2	15/8	63/27	94/54	100,2/74,1	0,5/0,3	1,7/1,8
1.24. Высокоэффективные технологии добычи угля с использованием гибких роботизированных систем 2-го и 3-го поколений								
Минимум	3/0	8/0	20/0	38/0	51/0	60,0	0,2	8,1
Максимум	4/0	11/0	27/0	48/0	64/0	75,0	0,2	10,6
1.25. Скважинная добыча угля без присутствия людей								
Минимум	1/1	7/3	13/9	15/13	15/14	15,0/15,0	0,4/0,3	6,7/3,5
Максимум	2/1	9/5	17/12	20/18	20/19	20,0/20,0	0,4/0,3	9,4/4,8
1.26. Комплексная информационно-управляющая структура «интеллектуальный разрез (шахта)»								
Минимум	6/2	18/8	40/24	63/45	75/58	81,0/65,0	0,3/0,3	18,0/8,4
Максимум	8/3	22/10	49/28	75/54	88/71	95,0/80,0	0,3/0,3	22,3/10,5
1.27. Использование роботизированных фронтальных агрегатов								
Минимум	1/1	10/4	19/13	20/19	20/20	20,0/20,0	0,6/0,4	10,0/3,9
Максимум	2/1	13/5	27/17	30/27	30/29	30,0/30,0	0,5/0,4	13,0/4,9
1.28. Инновационные технологии физико-химических, гидравлических, электромагнитных способов разрушения горных пород								
Минимум	7/0	21/0	43/0	60/0	67/0	70,0	0,3	20,8
Максимум	6/0	36/0	71/0	79/0	80/0	80,0	0,5	36,2
1.29. Использование киберфизических производственных систем на открытых и подземных работах								
Минимум	6/0	18/0	39/0	60/0	72/0	79,0	0,2	17,9
Максимум	8/0	23/0	49/0	74/0	88/0	95,0	0,2	23,1
1.30. Миниатюризация альтернативных источников энергии								
Минимум	2/0	8/0	29/0	59/0	77/0	83,0	0,3	8,5
Максимум	6/0	26/0	67/0	92/0	99/0	100,0	0,4	25,7

Таблица 2
Прогнозная динамика доли применения технологий открытой и подземной добычи в угольной отрасли РФ, %

Варианты развития отрасли / Industrial development scenarios	Технологии / Technologies	Годы / Years					
		2017	2020	2025	2030	2035	2040
Инновационный	Открытой добычи	74	74	83	84	89	95
	Подземной добычи	26	26	17	16	11	5
Консервативный	Открытой добычи	74	74	74	75	75	76
	Подземной добычи	26	26	26	25	25	24

Table 2
Forecasting dynamics of the utilization share of opencast and underground mining technologies in the Russian Coal Industry, %

В данной статье в качестве примера, приведены результаты прогнозной оценки масштабов применения новых технологий в угольной отрасли только по добыче угля (табл. 1).

Прогнозная динамика доли применения технологий открытой и подземной добычи в угольной отрасли РФ

Начальный прогноз технологического развития угольной отрасли базировался на оценке масштабов применения технологий открытой и подземной добычи угля. В соответствии с расчетами, доля подземных технологий в инновационном варианте к концу прогнозного периода (2040 г.) должна сократиться примерно в 5 раз (табл. 2).

Это означает, что доля более производительного открытого способа добычи угля к 2040 г. может быть повышена до 95%. Открытый способ добычи угля обладает достаточно быстрой адаптацией к базовым технологиям «Индустрии 4.0», формирующим «ядро» технологического развития отрасли.

Консервативный вариант характеризуется, практически, «замороженными» пропорциями применения технологий открытой и подземной добычи. Он в меньшей степени нацелен на восприятие технологий, заявленных в «Индустрии 4.0», и опирается, в основном, на тиражирование действующих или «периферийных» технологий.

Оценка прогнозного коридора масштабов (доли добычи) применения новых технологий в угольной промышленности РФ в сфере «Добыча угля»

В соответствии с аналитическими исследованиями авторов дальнейшие модельные расчеты и установление прогнозных зависимостей масштабов применения новых технологий проводилось последовательно в рамках выделенных основных процессов горного производства.

Так, результаты расчетов по процессу «Добыча угля» свидетельствуют о значительных масштабах применения новых технологий по инновационному варианту (рис. 1).

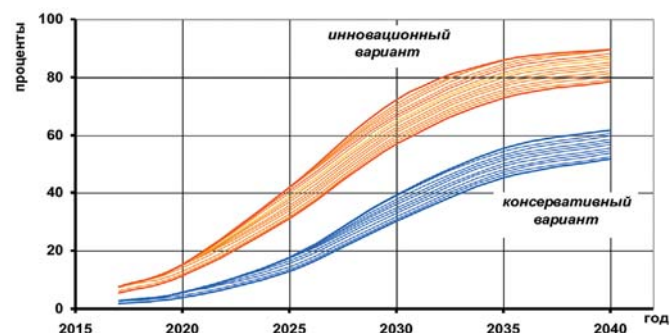


Рис. 1
Оценка прогнозного коридора масштабов (доли добычи) применения новых технологий в угольной промышленности РФ в области «Добыча угля»

Fig. 1
Forecast corridors (share of production) for employment of new technologies in the Russian Coal Industry with respect to coal mining

К 2025 г. объем применения новых технологий в угольной промышленности РФ по направлению «Добыча угля» может составить около 35–42%, и только к 2030 г. нижняя граница «коридора» оценки, по нашим расчетам, может подняться до 57%. Это свидетельствует о том, что технологии добычи угля, обеспечивающие на угольных предприятиях главные производственные процессы, являются достаточно «сложными» (особенно для шахт) с точки зрения внедрения в хозяйственную практику роботизации добычи и организации безлюдной отработки запасов угля.

Однако даже в этом случае темпы внедрения новых технологий в инновационном варианте будут соответствовать программным рубежам четвертой промышленной революции (2025–2030 гг.). Так, уже к 2035 г. около 83% от всего объема добычи угля, по нашим расчетам, будет обеспечиваться новыми технологиями.

Консервативный вариант характеризуется более умеренными темпами технологических преобразований: рубеж, соответствующий 45–52%-ному применению новых технологий будет достигнут, по нашим расчетам, не ранее 2035 г., что свидетельствует о примерно 7–10-летнем отставании этого сценарного варианта от скорости преобразований по сравнению с инновационным вариантом.

Результаты оценки масштабов освоения новых технологий в области «Добыча угля», дифференцированных по расчетным вариантам, представлены в табл. 1.

Оценка прогнозного коридора масштабов (доли от объема переработки) применения новых технологий в угольной промышленности РФ в области «Переработка угля и отходов»

Прогнозная динамика масштабов технологических преобразований в области «Переработка угля и отходов» (рис. 2), в основном, аналогична динамике преобразований в области «Добыча угля».

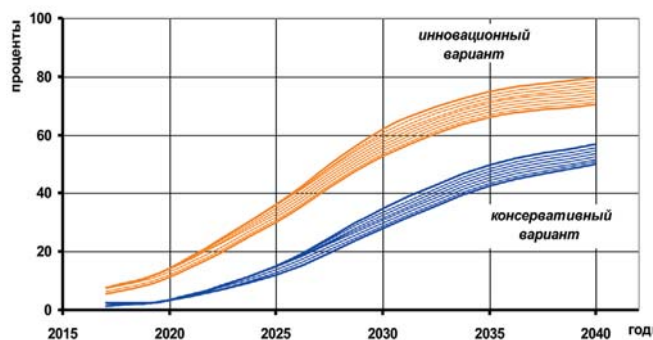


Рис. 2
Оценка прогнозного коридора масштабов (доли от объема переработки) применения новых технологий в угольной промышленности РФ в области «Переработка угля и отходов»

Fig. 2
Forecast corridors (share of processing) for employment of new technologies in the Russian Coal Industry with respect to coal and waste processing

К 2030 г. новые технологии по инновационному варианту, по нашим расчетам, будут занимать около 50–62% от всего объема переработки угля, а к 2040 г. охват новыми технологиями может составить примерно 70–80%. Такая динамика технологического обновления соответствует программным рубежам реализации четвертой промышленной революции (2025–2030 гг.).

Консервативный вариант, напротив, демонстрирует существенное отставание в технологическом обновлении отрасли по процессам «Переработки угля и отходов». Так, новыми технологиями в этом варианте к 2040 г. будет охвачено не более 50% от объема переработки угля и отходов. В целом, технологические преобразования в консервативном варианте будут отставать от аналогичных преобразований, заявленных в инновационном варианте, минимум на 10 лет.

Скорость технологических преобразований в угольной отрасли по исследуемым вариантам зависит прежде всего от динамики объемов освоения технологий, составляющих «ядро» технологических преобразований (выделены в табл. 1). Такими технологиями, входящими в «ядро» основных процессов горного производства, будут базовые технологии, обеспечивающие реализацию проекта «Индустрия 4.0» (цифровизация, Интернет вещей, производственные киберфизические системы).

Сравнительная характеристика масштабов использования технологий, составляющих «ядро» технологического развития угольной отрасли по основным процессам горного производства

Прогнозная динамика масштабов использования технологий, составляющих «ядро» технологического развития угольной отрасли по основным процессам горного производства, представлена в табл. 3.

Таблица 3
Сравнительная характеристика масштабов использования технологий, составляющих «ядро» технологического развития угольной отрасли по основным процессам горного производства, %

Table 3
Comparison of the utilization scales of the technologies that are critical for the technological development of the Coal Industry with respect to the basic mining processes, %

Варианты развития отрасли / Industrial development scenarios	Годы / Years				
	2020	2025	2030	2035	2040
I. Добыча угля					
Инновационный	7	23	47	66	79
Консервативный вариант	2	6	13	23	30
II. Переработка угля и отходов					
Инновационный	12	34	61	78	85
Консервативный вариант	3	12	28	42	50
Консервативный вариант	4	16	36	51	57

Примечание: числитель – минимальная оценка; знаменатель – максимальная оценка.

Приведенные результаты расчетов иллюстрируют принципиальное отличие, существующее между консервативным и инновационным вариантами развития угольной отрасли. Так, по всем основным процессам горного производства скорость роста масштабов использования технологий, входящих в «ядро», в консервативном варианте, примерно, в два раза ниже, чем в инновационном варианте. При этом общая скорость роста масштабов использования

всей совокупности технологий в инновационном варианте соизмерима со скоростью расширения масштабов применения технологий, входящих в «ядро». Это означает, что рост масштабов «периферийных» технологий, в основном, соответствует росту масштабов технологий, входящих в «ядро».

В консервативном же варианте достаточно низкая скорость внедрения технологий, входящих в «ядро», приводящая, фактически, к срыву своевременного достижения программных рубежей четвертой промышленной революции, «заставляет» замещать авангардные технологии «ядра» технологиями «периферийного» уровня, причем, по всем основным процессам горного производства.

Следует иметь в виду, что именно технологии «ядра» определяют качественный прорыв в технологическом развитии угольной отрасли, приводящий к повышению эффективности ее функционирования в прогнозном периоде.

Прогноз роста производительности труда в угольной отрасли РФ в зависимости от масштабов применения новых технологий

Более чем пятикратное повышение к 2040 г. (относительно 2017 г.) производительности труда в инновационном варианте в угольной отрасли обеспечивается высоким уровнем (до 85%) технологического обновления угольной отрасли, достигаемым, прежде всего, за счет технологий, входящих в «ядро» (рис. 3).

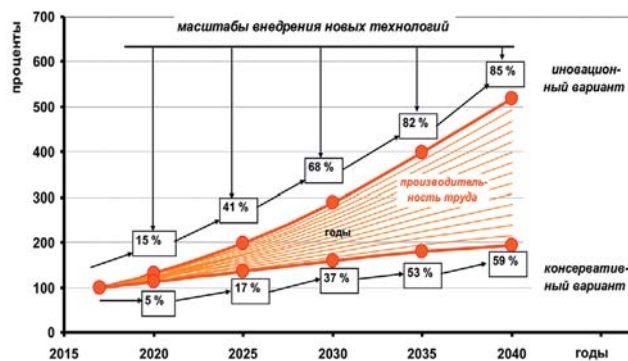


Рис. 3
Прогноз роста производительности труда в угольной отрасли РФ в зависимости от масштабов применения новых технологий

Fig. 3
A forecast of labour productivity growth in the Russian Coal Industry as a function of the new technology utilization scale

Их недостаточно большие масштабы применения в консервативном варианте, даже при 59- процентном уровне масштабов обновления другими технологиями, обеспечивают к 2040 г. лишь двукратное повышение производительности труда.

Заключение

Прогнозная динамика возможных масштабов использования отраслевых технологий, дифференцированных как по процессам горного производства, так и по сценарным вариантам технологического развития отрасли (см. табл. 1 и 2), формирует для угольных компаний технологические «сигналы». Эти «сигналы» позволяют угольному бизнесу и государственному регулятору контролировать скорость и направление необходимых технологических преобразований, соответствующих темпам и пропорциям глобального инновационного процесса.

Список литературы

1. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С., Дьяченко К.И. Прогнозы технологического развития угольной промышленности России на период до 2040 г. Часть. 1. Прогнозы добычи и цен угля в соответствии со сценарными уровнями мировой цены нефти на период до 2040 г. *Горный журнал*. 2019;(7):55–59. DOI: 10.17580/gzh.2019.07.01
2. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С., Дьяченко К.И. Прогнозы технологического развития угольной промышленности России на период до 2040 г. Часть. 2. Этапы технологического развития угольной промышленности России на период до 2040 г. *Горный журнал*. 2019;(8):11–18. DOI: 10.17580/gzh.2019.08.02
3. Хиллер Б. Индустрия 4.0 умное производство будущего Опыт «цифровизации» Германии [Презентация]. В: *Информационное моделирование для инфраструктурных проектов и развития бизнесов Большой Евразии: 6-й Международном форум, г. Москва, 7 июня 2017 г.* Режим доступа: <http://3d-conf.ru/pdf-2017/hiller.pdf> [Дата обращения: 29.04.2019].
4. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Мировой инновационный проект «Индустрия-4.0» – возможности применения в угольной отрасли России. 1. Программа «Индустрия-4.0» – новые подходы и решения. *Уголь*. 2017;(10):44–50. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-10-44-50.
5. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С. Программы «Индустрия-4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» – возможности и перспективы в угольной промышленности. *Горная промышленность*. 2018;(1):22–28. DOI: 10.30686/1609-9192-2018-1-137-22-28.
7. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленной промышленности России за январь-декабрь 2018 года. *Уголь*. 2019;(3):64–79. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-64-79.
6. Плакиткина Л.С. *От цифровизации к мировым проектам «Индустрия-4.0» и «Общество 5.0» – возможности технологической адаптации отрасли, состояние и прогнозы развития угольной промышленности мира и России* [Лекция в Центре стратегического менеджмента и конъюнктуры сырьевых рынков НИТУ МИСиС (МГУ) для слушателей программы MBA Международной школы бизнеса]. Режим доступа: <http://youtu.be/xCmtOAYpMf4> [Дата обращения: 29.04.2019].

References

1. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S., Dyachenko K.I. Forecasts of Technological Development of Russian Coal Industry for the Period until 2040. Part 1. Forecast of Coal Production and Prices in Accordance with Scenario Levels of Global Oil Prices for the Period until 2040. *Gornyi Zhurnal*. 2019;(7):55–59. (In Russ.) DOI: 10.17580/gzh.2019.07.01
2. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S., Dyachenko K.I. Forecasts of Technological Development of Russian Coal Industry for the Period until 2040. Part 2. Stages in Technological Development of Russian Coal Industry for the Period until 2040. *Gornyi Zhurnal*. 2019;(8):11–18. DOI: 10.17580/gzh.2019.08.02
3. Hillier B. Industry 4.0: Smart Production of the Future. Experience in Digitalization in Germany [Presentation]. In: *Information Modelling for Infrastructure Projects and Business Development in Greater Eurasia: VI International Forum, Moscow, June 7th, 2017*. Available at: <http://3d-conf.ru/pdf-2017/hiller.pdf> [Accessed: 29.04.2019].
4. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. The Industry-4.0 global innovation project's potential for the coal industry of Russia. 1. Industry-4.0 Program – new approaches and solutions. *Ugol = Russian Coal Journal*. 2017;(10):44–50. DOI: 10.18796/0041-5790-2017-10-44-50.
5. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. Programs Industry-4.0 and Digital Economy of the Russian Federation – Opportunities and Horizons in the Coal Sector. *Russian Mining Industry*. 2018;(1):22–28. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2018-1-137-22-28.
7. Tarazanov I.G. Russia's coal industry performance for January – December, 2018. *Ugol = Russian Coal Journal*. 2019;(3):64–79. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-3-64-79.
6. Plakitkina L.S. *From Digitalization to Industry 4.0 and Society 5.0 Global Projects: Possibilities of Technological Adaptation of the Industry, Current State and Forecasts of Coal Mining Industry Development Globally and in Russia* [a lecture at the Centre for Strategic Management and Commodity Markets Condition at NUST MISIS (MSMU) for attendees of the MBA Programme of the International School of Business]. Available at: <http://youtu.be/xCmtOAYpMf4> [Accessed: 29.04.2019].

Информация об авторах

Плакиткин Юрий Анатольевич – доктор экономических наук, профессор, академик АГН, академик РАЕН, руководитель Центра инновационного развития отраслей энергетики, Институт энергетических исследований Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: uplak@mail.ru, uvm@eriras.ru

Плакиткина Людмила Семеновна – кандидат технических наук, член-корреспондент РАЕН, руководитель Центра исследований угольной промышленности мира и России, Институт энергетических исследований Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: luplak@rambler.ru

Дьяченко Константин Игоревич – старший научный сотрудник Центра исследований угольной промышленности мира и России, Институт энергетических исследований Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: eriras@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.05.2019

Одобрена рецензентами: 19.06.2019, 12.07.2019

Принята к публикации: 21.07.2019

Information about the author

Yury A. Plakitkin – Doctor of Science (Economics), Full Professor, Member of Academy of Mining Sciences, Member of Russian Academy of Natural Sciences, Head of Centre for Innovative Development of Power Industries, The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: uplak@mail.ru, uvm@eriras.ru

Lyudmila S. Plakitkina – Candidate of Science (Engineering), Corresponding Member of Russian Academy of Natural Sciences, Head of Centre for Studies of Global and Russian Coal Mining Industry, The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: luplak@rambler.ru

Konstantin I. Dyachenko – Senior Research Fellow at Centre for Studies of Global and Russian Coal Mining Industry, The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation; e-mail: eriras@mail.ru

Article info

Received: 27.05.2019

Reviewed: 19.06.2019, 12.07.2019

Accepted: 21.07.2019