

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕПОЧЕК В УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: ОРГАНИЗАЦИОННО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Е.В. Гоосен¹, С.М. Никитенко¹, Е.С. Каган², А.О. Рада², О.И. Никитина²

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения РАН,
Кемерово, Россия, e-mail: nsm.nis@mail.ru

² Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Аннотация: В условиях энергоперехода и отказа от невозобновляемых источников энергии российская угольная отрасль столкнулась с необходимостью адаптации к жестким экологическим требованиям. Сегодня большая часть компаний действуют не сами по себе, а в рамках сложившихся производственных цепочек (ПЦ). Санкции и эмбарго на поставки угля приводят к разрыву ПЦ, сложившихся в угольной и смежных отраслях, и неопределенности возникают не только на зарубежных рынках, но и внутри страны, что способствует появлению дополнительных рисков, снижение которых невозможно без существенной трансформации ПЦ. Целью статьи является выявление возможных траекторий развития ПЦ в угольной и смежных отраслях, в направлении повышения их стрессоустойчивости в условиях рисков и неопределенности. Опираясь на методику Г. Джереффи, Дж. Хамфри, Т. Стерджена, а также Э. Яннакиса и А. Брюггемана, авторы статьи предложили алгоритм поиска возможных направлений трансформации производственных цепочек в угольной отрасли. Для выявления технологий, способных обеспечить рост стрессоустойчивости угольных ПЦ и входящих в них компаний, был проведен патентный анализ и опрос экспертов в форме неформализованного интервью из числа специалистов в области добычи и переработки угля на предмет степени их технологической готовности и востребованности. Это позволило показать спектр технологий добычи и глубокой переработки угля, способных стать основой для формирования стрессоустойчивых производственных цепочек. Сделан вывод, что несмотря на текущую нестабильность, угольная отрасль имеет достаточно возможностей для развития при дифференцированном подходе к трансформации существующих в отрасли производственных цепочек.

Ключевые слова: угольная отрасль, производственные цепочки, типология производственных цепочек, выживаемость, стрессоустойчивость, сопротивляемость, способность восстанавливаться, коэффициенты стрессоустойчивости, перспективные угольные технологии, технологическая интеграция.

Благодарность: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (№ 22-28-01803, <https://rscf.ru/project/22-28-01803/>) с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием КемГУ в рамках соглашения № 075-15-2021-694 от 05.08.2021, заключенного между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (уникальный идентификатор контракта RF-2296.61321X0032).

Для цитирования: Гоосен Е. В., Никитенко С. М., Каган Е. С., Рада А. О., Никитина О. И. Трансформация производственных цепочек в угольной отрасли: организационно-технологические аспекты // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 3. – С. 163–179. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_163.

Production chain transformation in the coal industry: Engineering and organization

E.V. Goosen¹, S.M. Nikitenko¹, E.S. Kagan², A.O. Rada², O.I. Nikitina²

¹ Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry,
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russia, e-mail: nsm.nis@mail.ru

² Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Abstract: In view of the energy transition and rejection of nonrenewable energy sources, the Russian coal sector has faced the necessity to adapt to the stringent environmental policies. Most companies now act not on their own but within the fully formed production chains (PC). The sanctions and embargo on Russian coal lead to the interruption of PC in the coal and allied industries, and the ban-related uncertainties arise both on the foreign and domestic markets, which promotes additional risk irreducible without material transformation of PC. This study aims to reveal potential evolutionary trends for PC in the coal and allied industries towards their enhanced stress resilience under risk and uncertainty. Based on the Gereffi–Humphrey–Sturgeon method and the Giannakis–Bruggeman approach, the authors propose a search algorithm for PC transformation in the coal industry. For revealing technologies enabling increased stress resilience of PC and business companies in the coal sector, the authors performed the patent analysis and interviewed expert practitioners in the area of coal mining and processing with respect to the technology availability and relevance. This exhibited a range of the coal mining and deep conversion technologies to make a framework for the stress-resilient production chains. The authors arrive at a conclusion that, despite the current instability, the coal industry is definitely in a position to develop a differentiated approach to transformation of the prevailing production chains.

Key words: coal industry, production chains, production chain typology, survival ability, stress resilience, resistibility, recoverability, stress resilience factors, promising coal technologies, technological integration.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Grant No. 22-28-01803, and was carried out using equipment of the Shared Use Center at the Kemerovo State University under State Contract No. 075-15-2021-694 concluded between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Kemerovo State University on August 5, 2021, UID RF-2296.61321X0032.

For citation: Goosen E. V., Nikitenko S. M., Kagan E. S., Rada A. O., Nikitina O. I. Production chain transformation in the coal industry: Engineering and organization. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(3):163-179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_3_0_163.

Введение

В условиях энергоперехода и отказа от невозобновляемых источников энергии российская угольная отрасль столкнулась с необходимостью адаптации к жестким экологическим требованиям. Обострение внешнеэкономической си-

туации и вступивший в августе 2022 г. в Евросоюзе запрет на импорт угля из России еще больше обострил ситуацию. Российские компании уже приступили к поиску выхода из этой ситуации и начали менять направление экспорта угля — в Индию, Китай и Турцию. Однако это

не решит всех проблем угольной отрасли, продукция которой почти на 50% ориентирована на внешние рынки и имеет преимущественно экстенсивный характер.

Растущая сложность технологий и всего производственного цикла привела к формированию в 90-х годах XX в. так называемой распределенной (сетевой) модели организации производства, в основе которой лежит поддетальное разделение труда, технологическая интеграция и растущая роль бизнес-услуг в современном производстве [1]. Основной единицей такой организации производства является уже не отдельная фирма, а цепочка связанных между собой компаний, производящих готовый продукт на всех стадиях его производства — производственная цепочка [2], в рамках которой «процесс создания новых конечных продуктов рассредоточен среди множества автономных фирм-поставщиков и субпоставщиков из разных юрисдикций» [3, с. 9], что ведет к «фрагментации стадий производственного цикла» и разделению их на «узкие и высокоспециализированные операции (бизнес-задачи), каждая из которых выполняется конк-

ретным участником ПЦ и соответствует ее определенному звену» [1, с. 23].

Методы

Авторы данной статьи предложили следующий алгоритм поиска возможных направлений трансформации цепочек поставок в угольной отрасли:

- оценка стрессоустойчивости производственных цепочек, сложившихся в российской угольной отрасли;
- отбор технологий добычи и глубокой переработки угля, способных стать основой для формирования стрессоустойчивых производственных цепочек;
- описание кейс-стади, показывающих попытки трансформации производственных цепочек в угольной отрасли на основе отобранных технологий.

С целью оценки устойчивости угольных компаний была проведена оценка их текущей стрессоустойчивости, под которой понимается способность ПЦ и входящих в них компаний восстанавливаться после воздействия внешнего или внутреннего негативного шока [4, 5]. Для анализа был выбран период с 2011 по 2018 гг., который в полном объеме от-

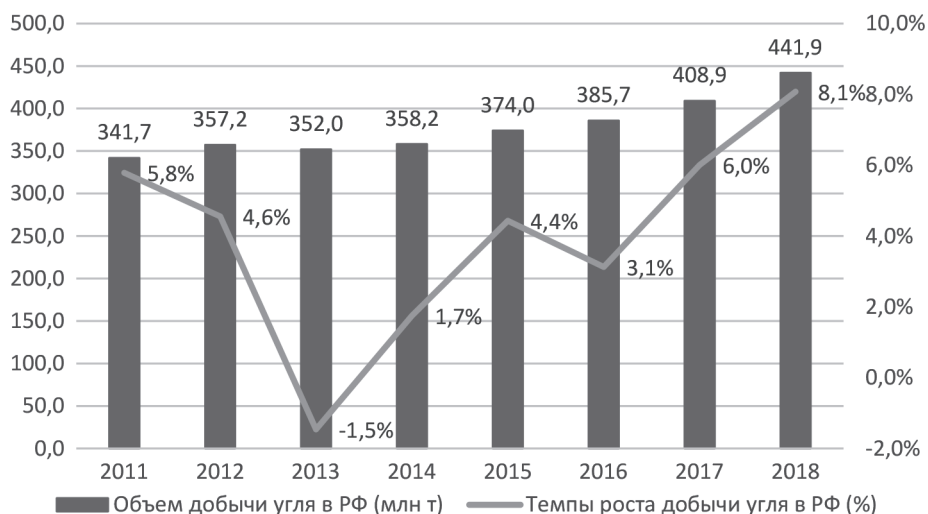


Рис. 1. Валовая добыча угля (млн т) и динамика прироста валовой добычи угля (%) в 2011 – 2018 гг.
Fig. 1. Coal gross output (Mt) and production increment (%), 2011 – 2018

ражает все этапы шоковой рецессии: период сопротивления — временной отрезок от года с максимальными темпами роста отрасли перед шоком до года максимального их снижения; и период восстановления — временной отрезок от точки максимального снижения темпов роста в период шока до времени восстановления их на дошоковом уровне.

Статистика в указанный период показала, что в самом худшем положении угольная отрасль находилась в 2013 г. Этот год в исследовании был принят за пик рецессионного шока. На рис. 1 видно, что темпы прироста добычи угля в 2013 г. были отрицательными (-1%), а соответственно, в 2011 и 2018 гг. они были на максимальном уровне (темпы прироста соответственно +6% и +8%).

В 2013 г. и прибыль была на самом низком уровне, а доля убыточных предприятий, наоборот, была самой высокой (рис. 2).

Информационной базой исследования текущей стрессоустойчивости российской угольной отрасли послужили официальные данные угольных компаний, ЦДУ ТЭК, Федеральной службы госу-

дарственной статистики РФ за 2011 — 2018 гг. о динамике добычи угля в России и в угольных компаниях в рядовом исчислении. В указанный период число угольных шахт и разрезов колебалось в пределах 162 — 208 технических единиц, в выборку вошло 169 компаний, по которым были доступны данные за весь период. Для компаний, в состав которых входило несколько предприятий (шахт и разрезов), рассчитывалась только стрессоустойчивость по компании в целом.

В качестве инструментов оценки устойчивости ПЦ были выбраны:

- выживаемость α — доля компаний в составе ПЦ, действовавших на рынке в течение всего периода с 2011 по 2018 гг.

- индексы стрессоустойчивости β_r , рассчитанные по методике Э. Яннакис и А. Бруггреман (E. Giannakis & A. Bruggeman) [6], которая была адаптирована авторами для анализа ПЦ в угольной отрасли [7, 8]. Индексы были рассчитаны на основе динамики валовой добычи угля в рядовом исчислении. По общему индексу стрессоустойчивости ($\beta_{res.com}$)



Рис. 2. Динамика прибыли (убытка) и доли убыточных предприятий 2011 — 2018 гг.

Fig. 2. Sales profit, income (loss) before tax and number of loss operations, 2011 — 2018

оценивалась текущая стрессоустойчивость ПЦ в течение всего периода 2011 – 2018 гг. По индексу сопротивляемости (β_{res}), аналогично, оценивалась способность ПЦ сопротивляться кризису (временной период 2011 – 2013 гг.), индекс восстановления (β_{rec}) показывал способность ПЦ восстанавливаться после кризиса (временной период 2013 – 2018 гг.).

Все три индекса были рассчитаны с помощью одной формулы, но за разные временные периоды:

$$\beta_r = \frac{\left[\frac{Q_t^c - Q_{t-1}^c}{Q_{t-1}^c} - \frac{Q_t^i - Q_{t-1}^i}{Q_{t-1}^i} \right]}{\left| \frac{Q_t^i - Q_{t-1}^i}{Q_{t-1}^i} \right|} \quad (1)$$

где Q_{tc} – объем добычи угля в рамках ПЦ в рядовом исчислении, тыс. т; Q_t^i – объем добычи угля в отрасли в целом в рядовом исчислении, тыс. т; $t-1$ – начальный год временного периода; t – год окончания периода.

Положительное значение каждого из индексов показывает, что данная производственная цепочка была более устойчива/лучше сопротивлялась/быстрее выходила из кризиса, чем отрасль в целом. Отрицательное значение свидетельствует об обратном. Индексы были рассчитаны только для выживших компаний.

После расчета абсолютных значений индексов были определены уровни стрессоустойчивости / сопротивляемости / способности восстанавливаться. Если компании не выживали или значение индекса было меньше -2 , уровень значения признавался низким (1 уровень), если значение попадало в границы от -2 до 2 , оно считалось средним (2 уровень), если превышало 2 – высоким (3 уровень). Все 169 анализируемых ПЦ также были разделены на три группы в соответствии с близостью к типичным ПЦ по методологии G. Gereffi, 2005 [9].

Для выявления технологий, способных обеспечить рост стрессоустойчи-

вости угольных ПЦ и входящих в них компаний, авторами был проведен патентный анализ и опрос в форме неформализованного интервью экспертов из числа специалистов в области добычи и переработки угля на предмет степени их технологической готовности и востребованности. Всего было опрошено 4 научных исследователя и 3 практика.

Полученные результаты

Расчет общего индекса стрессоустойчивости отдельных угольных компаний показал, что в период 2011 – 2018 гг., несмотря на рост добычи угля, российская угольная отрасль не была стрессоустойчивой даже в краткосрочной перспективе: выжившими за весь период оказались 77 компаний из 169 ($\alpha = 45,6\%$). Значения β_{rescom} показывают, что только 35 из 77-ми выживших компаний имели общий индекс стрессоустойчивости (β_{rescom}) больше 0 (см. табл. 1). При этом число компаний со значительным снижением прироста добычи и значительным отклонением от общеотраслевых показателей ($\beta_{rescom} < -2$) было 27, что составило почти 25% от общего числа компаний.

В соответствии с методологией Г. Джереффи (G. Gereffi) [9] из 169 компаний 79 были отнесены к рыночным ПЦ, в которых взаимодействие между звеньями осуществляется посредством рынка. Остальные объединены в 18 посреднических, где взаимодействие между звеньями осуществляется через взаимодействие с крупной компанией – посредником, выступающей в качестве рынка сбыта, и 13 иерархических ПЦ, представленных вертикально-интегрированными компаниями. Также было установлено наличие специализации, открытость или закрытость ПЦ.

Если в данной цепочке преобладали потребители какой-либо отрасли, – энергетической, металлургической или це-

Таблица 1

Распределение компаний по уровню общей стрессоустойчивости (β_{rescom}), N = 77
Distribution of companies by the level of general resilience (β_{rescom}), N = 77

Сегмент компаний	Частота	Доля сегмента, %	Значение β_{rescom} в сегменте		
			min	max	среднее
Неустойчивые компании ($\beta_{rescom} < -2$)	42	55	-4,207	-2,197	-2,778
Стрессоустойчивые компании ($\beta_{rescom} > 0$)	35	45	0,061	34,933	5,007

ментной, — то ПЦ признавались специализированными (С), если нет — неспециализированными (Н). Закрытость (З)/открытость (О) цепочки определялась по наличию/отсутствию ключевого потребителя. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Анализ типичных ПЦ в отечественной угольной отрасли показал [13], что рыночные ПЦ, представленные независимыми неспециализированными компаниями, в период 2011 — 2018 гг. имели относительно высокие показатели стрессоустойчивости и способности к восстановлению, но невысокий уровень сопротивляемости и процент выживаемости. Это отражает тот факт, что выживание рыночных ПЦ шло за счет постоян-

ного обновления их состава. Отдельные компании, входящие в состав рыночных ПЦ, были, как правило, неустойчивы, их срок жизни составлял в среднем 5 лет, что в 3 раза меньше среднего инвестиционного цикла угольной компании.

Более высокий уровень выживаемости и стрессоустойчивости показали посреднические и иерархические ПЦ. Они лучше сопротивлялись кризису, однако их слабым местом оказалась невысокая способность к восстановлению. При этом посреднические компании демонстрировали более низкий уровень выживаемости. Во многом это связано с тем, что в рамках иерархических специализированных структур связь между звеньями ПЦ опирается на требования технологи-

Таблица 2

Типичные организационные структуры производственных цепочек в угольной отрасли и уровень их стрессоустойчивости

Typical organizational structures of production chains in the coal industry and the level of their resilience

Тип ПЦ	Специализация / открытость	β_{rescom}	β_{res}	β_{rec}	α , %	Примеры
Рыночные	Н / О	3	1	3	20	ООО р. Кайчакский-1; АО р. Канский;
Посреднические компании	Н / З	2	3	1	70	ООО «Холдинг СИБУГЛЕМЕТ»; АО ХК «СДС-Уголь»; ООО «УК «КОЛМАР»
Иерархические	С / З	2	3	1	100	АО СУЭК, ПАО Северсталь, ПАО МЕЧЕЛ, EN+ GROUP; АО «ХК «Сибирский цемент»

Источник: составлено авторами на основе адаптированной схемы G. Gereffi, 2005 [9], описания угольных ПЦ полученных из [10–12], данных угледобывающих компаний, ЦДУ ТЭК, базы данных системы «СБИС».

Таблица 3

Спектр доступных новых технологических цепочек
Range of available novel production chains

	Технологии традиционные	Основные продукты	Технологическая оснащенность	Новые технологические стадии переработки
Технологическое использование угля	Коксование	Кокс, коксовый газ	Батареи с системой groven, коксовые батареи с процессом score 21, печи рекуперативного типа	Производство ароматических и полициклических углеводородов
	Полукоксование (частичная газификация)	Полукокс, технологические газы	Реактор шахтного типа, печи полукоксования, топки кипящего слоя энерготехнологических котлов	Производство формованного металлургического кокса, бездымного топлива, углеродного восстановителя, метанола, водорода и топливных элементов, углеродных сорбентов
		Первичная смола	Реактор, ректификационная колонна	Производство фенолов, парафинов, пека, смазочного и осветительного масла, ацетона, уксусной кислоты, цианидов, аммиака
		Газ	Реактор, кристаллизатор	Производство топлива, технологического сырья для органического синтеза
	Газификация	Генераторный газ, синтез-газ	Реактор синтеза	Производство метанола, аммиака, водорода, диметилового эфира, жидкого топлива
		Активированный углерод (среднетемпературный кокс)	Реактор	Производство углеродного восстановителя, углеродного сорбента, технологического топлива
	Термическое растворение	Игольчатый кокс	Реактор, установка замедленного коксования	Производство сверхнадежных графитированных электродов для получения высококачественных сталей, литий-ионных аккумуляторов, конструкционных материалов
	Комплексная технология Гидратация / гидрирование этилена	Этанол	Многостадийные установки	Этиловый спирт, биотопливо
	«Чистое» сжигание угля	Генераторный газ, углерод	Установки с ультра сверхкритическими параметрами	Тепло, электроэнергия, опресненная вода
	Гидрогенизация	Жидкие и газообразные продукты	Установки гидрогенизации (технологии nedol-bcl, advanced-bcl)	Производство синтетического жидкого топлива, Химических продуктов

Обогащение	Угольные концентраты	Смесительные установки, программно-аппаратный комплекс	Получение «премиальных» угольных и топливных смесей
Сжигание угля	Золошлаковые продукты	Установки нового типа	Производство строительных материалов, корректирующих добавок (железосодержащих, глиноземистых, кремнеземистых), редкоземельных элементов
Переработка попутного газа метана	Метано-водородная смесь, синтетический этиловый спирт	Ионно-плазменная установка	Производство алкенов, изомеров, высокооктанового бензина, водорода для топливных элементов
Источник: составлено авторами на основе материалов проведенного авторами в 2022 г. патентного исследования и опроса экспертов [10, 13].			

ческого процесса и является более устойчивой. Это позволило авторам сделать вывод о необходимости поиска технологий, которые бы могли позволить формировать более устойчивые ПЦ, способные не только сопротивляться шокам, но и гибко трансформировать производство и организационную структуру, подтвердить гипотезу о невысокой стрессоустойчивости российских угольных ПЦ компаний и сделать вывод о необходимости дифференцированного подхода к их поддержке. При этом специализированные ПЦ в целом были более устойчивыми, чем неспециализированные. Данный вывод во многом совпадает с мнением других авторов, занимающихся проблемами ПЦ в добывающих отраслях [14].

Для выявления перспективных технологий в рамках исследования был проведен патентный анализ и опрос экспертов — специалистов в области добычи и переработки угля на предмет степени их технологической готовности и востребованности (табл. 3).

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показал, что большая часть потенциальных новых технологий известна достаточно давно, и они потенциально способны увеличить устойчивость угольной

отрасли. К ним и опрошенные эксперты отнесли: «чистое» сжигание угля, полукоксование (частичная газификация), формирование «премиальных» угольных и топливных смесей, газификацию угля, переработку попутного газа метана и золошлаковых продуктов, получение этанола из угля [14–16].

По мнению экспертов, перспективными с точки зрения трансформации угольных ПЦ являются также технологии создания стандартизированного топлива из угольных смесей и пылеугольного топлива (PCI) для сжигания на тепловой электростанции (ТЭС) и для металлургических процессов. Преимущества PCI в том, что эта угольная смесь повышает ее теплотворную способность до 7000 ккал/кг и более, приравнивая этот вид топлива по калорийности к параметрам природного газа. У такого топлива появляется новое качество — текучесть, которое создает предпосылки для использования его в тех же котлах, что и природный газ.

Известно, что качественный состав угля, используемого для сжигания на ТЭС, а также для металлургических процессов, регламентируется несколькими показателями, главные из которых калорийность, зольность и экологичность.

Доля углей, которые можно отнести к такому «стандартизованному топливу» (зольность не более 15%, калорийность не менее 6000 ккал/кг), составляет не более 35% [17, 18]. Поэтому каждый котел и каждая домна проектируются под конкретную марку угля. Сжигание так называемых «непроектных» марок угольного топлива сопряжено со множеством технологических и экологических проблем. На решение этих проблем и направлены технологии создания топливных смесей [19, 20]. Однако эксперты отметили, что даже при государственной

поддержке они или не внедряются, или их внедрение идет крайне медленно. Поэтому в ходе опроса экспертам помимо выявления перспективных технологий было предложено назвать барьеры для внедрения этих технологий и предложить направления их нетехнологического преодоления [21, 22].

Основными препятствиями для повышения стрессоустойчивости отечественной угольной отрасли, по мнению экспертов, являются технологические особенности производственного процесса в отрасли, жесткая привязка угольных

Таблица 4

Барьеры роста устойчивости и возможные направления нетехнологической трансформации угольных ПЦ
Stability augmentation obstacles and possible ways of non-technological transformation of PC in coal industry

Ключевые параметры	Барьеры роста стрессоустойчивости угольных ПЦ	Возможные направления трансформации ПЦ
Типы ПЦ	ПЦ рыночного, захватнического и иерархического типа	Формирование гибких ПЦ сетевого типа
Целевой ориентир	Текущая рентабельность на основе снижения издержек, роста добычи угля, контроля рынка	Стрессоустойчивость на основе способности гибкого приспособления к условиям рынка
Характер интеграции компаний в ПЦ	Неустойчивая товарная интеграция	Устойчивая технологическая интеграция, позволяющая гибко изменять производство и потребление угля
Способы стабилизации поддержания ПЦ	Укорочение ПЦ отказ от этапов обогащения и транспортировки угля, в том числе перенесение добычи ближе к местам потребления	Стабилизация ПЦ за счет удлинения ПЦ на основе более глубокой переработки угля, совершенствования внутренней и внешней логистики
	«Истончение» угольных ПЦ Отказ от вспомогательных и непрофильных производств, примитивизация производственных процессов	«Утолщение» ПЦ Включение в ПЦ альтернативных потребителей угля (с точки зрения отраслевой принадлежности и географии размещения) Формирование на основе использования угольных отходов параллельных ПЦ Перенос центра управления в логистические и инженерно-сервисные структуры
	Жесткая привязка угольных активов к конкретным потребителям	Гибкая сетевая система альтернативных поставщиков и потребителей, учет локальных особенностей потребителей
Источник: составлено авторами на основе [7 – 9].		

компаний к месторождениям, транспортной и логистической инфраструктуре, конкретным потребителям [23, 24].

К нетехнологическим препятствиям эксперты отнесли ресурсный характер отрасли — большая часть технологических инноваций поступает в угольную отрасль извне: от поставщиков оборудования и инжиниринговых компаний, занимающихся разработкой и строительством угольных предприятий. Это не формирует у угольных предприятий заинтересованности в формировании технологической интеграции и устойчивых сетевых взаимодействий — ключевых условий стабильности ПЦ в современных условиях, делает невозможным управление сквозной эффективностью всех звеньев ПЦ и толкает к монополизации рынка. Все эти особенности угольных ПЦ особенно ярко проявляются в период кризиса [25].

Отметили эксперты и возможные направления трансформации производственных цепочек, которые могли бы способствовать росту стрессоустойчивости их самих и компаний. Полный перечень барьеров и возможных нетехнологических направлений их трансформации представлен в табл. 4.

Полученные результаты позволили авторам сделать важный вывод, что при отборе перспективных технологий угледобычи и углепереработки и со стороны отдельных компаний, и со стороны государства необходимо учитывать их влияние на сквозную устойчивость угольных ПЦ.

Результаты (опыт внедрения стрессоустойчивых технологий)

Несмотря на все сложности формирования технологических и нетехнологических условий повышения устойчивости угольных ПЦ и за рубежом, и в России имеется уже некоторый практический опыт отбора и внедрения уголь-

ных технологий, ориентированных на устойчивость ПЦ, которые можно условно назвать стрессоустойчивыми [25]. Пока эти примеры единичны. Но при целенаправленной поддержке со стороны государства и крупных бизнес-структур они могут стать новым вектором развития угольной отрасли.

Примером успешного создания устойчивых ПЦ на основе их удлинения может служить внедрение экологически чистых технологий высокоскоростного пиролиза в кипящем слое и производство высококалорийного угольного топлива. В Монголии эксплуатируется демонстрационный блок по производству бурого угольного кокса и газа энергетического назначения для фабрики бездымных брикетов [26]. В Дубае в 2021 г. запущен энергетический комплекс Хассиан (Hassyan Power Complex) по технологии «чистого» сжигания угля, его мощность на первоначальном этапе составляет 600 МВт, стандарты по загрязнению соответствуют требованиям, которые предъявляются к газовым станциям.

Другим примером чистых технологий, способных удлинить и стабилизировать угольные ПЦ, может служить опыт Китая. В 2022 г. компания Shaanxi Yanchang Petroleum Group в городе Юйлинь (провинция Шэньси) запустила самый крупный в мире завод по производству этанола из каменного угля. Помимо медицинских и бытовых целей этанол в смеси с бензином в соотношении 2 к 1 может применяться в качестве биотоплива, которое наносит окружающей среде гораздо меньше вреда, чем традиционные виды топлива. Таким образом, этанол помимо стабилизации спроса на низкокачественные угли позволяет достигать цели низкоуглеродного развития. Предприятие в год будет перерабатывать более 1,5 млн т угля, его плановая мощность составляет более полумиллиона тонн этанола в год. Проект осуществ-

ляется совместно с Даляньским институтом химической физики (Северо-Восточный Китай). В стране ведется строительство еще нескольких аналогичных промышленных объектов, которые к 2025 г. смогут производить примерно 4 млн т подобного сырья на сумму 25 млрд юаней (около 3,7 млрд долл.).

Примером успешного российского опыта удлинения угольных ПЦ на основе стрессоустойчивых технологий является Красноярский завод по производству углеродных сорбентов и газа энергетического назначения. На котельной Березовского разреза (АО «СУЭК») эксплуатируется котел, модернизированный под производство мелкозернистого бурого угольного кокса.

Такой же эффект дают технологии, ориентированные на получение топливных брикетов из угля и на основе угля [26]. Они включены в Государственную информационную систему промышленности (ГИСП) России и согласно распоряжению Правительства РФ от 28.11.2020 г. № 3143-р признаны перспективными технологиями в целях заключения специальных инвестиционных контрактов.

В качестве примера гибкой технологической интеграции могут служить попытки реализации проектов создания сети хабов для формирования угольных смесей. Сегодня в большинстве случаев и отечественные металлурги, и отечественные энергетики по-прежнему готовят такие смеси под «свои» условия, заложенные в проектной документации конкретного котла и доменной печи. В результате угледобывающие предприятия оказываются жестко привязаны к конкретному потребителю. Однако готовить такие смеси можно не только на территории конкретного потребителя, но и на специально созданной и распределенной системе хабов. Это позволит расширить спектр стандартных смесей за счет привлечения новых поставщи-

ков, объемов производства и резко повысит экономическую эффективность использования РСІ в «большой» и «малой» энергетике, так как себестоимость выработки электроэнергии на ТЭС при этом снижается практически вдвое.

Таким образом, топливо становится классическим биржевым товаром со всеми вытекающими последствиями цивилизованного рынка, фьючерсными контрактами и хеджированием ценовых рисков, а у компаний появляется основа для технологической интеграции на базе распределенного производства. Наконец, территориальное рассредоточение хабов создает основу для локализации производства и «потянет» за собой смежные отрасли, в том числе транспортные компании, машиностроение: потребуется освоить производство специальных вагонов-хопперов для перевозки топливных смесей, оборудования для приготовления и хранения топлива для ТЭС, районных и коммунально-бытовых котельных. По сути, речь идет о создании не добывающих, а сервисных мощностей с целью обеспечения стрессоустойчивости угольной отрасли в условиях региональной экономики ресурсного типа. Таким образом, вектор развития угольной энергетики может резко поменяться в сторону ее бурного роста и замещения газа углем.

Исследования в этом направлении уже ведутся. В рамках Комплексной научно-технической программы (КНТП), реализуемой Научно-образовательным центром «Кузбасс», специалисты Института угля ФИЦ УУХ СО РАН реализуют проект создания интеллектуального производства топливных смесей на основе угля, которое будет представлять собой комплекс цифровых технологий управления процессом переработки углей и угольных концентратов на основе роботизированных смесительно-транспортных систем, а также искусст-

венного интеллекта и прогнозной аналитики. Примером взаимодействия в этом направлении между крупными бизнес структурами можно считать появление в России нового крупного транспортного холдинга (АО «Национальная транспортная компания»), консолидировавшего транспортные активы СУЭК и «Еврохим» и получившего под управление вагонный парк компаний (более 50 тыс. вагонов), а также шесть морских портов, специализирующихся на навалочных и генеральных массовых грузах — угле, минеральных удобрениях, руде, строительных материалах и т.д.

Другим примером технологической интеграции на основе топливных смесей, позволяющей повысить устойчивость ПЦ, может служить опыт создания быстро перенастраиваемого производства в рамках небольшого разреза «Угольного» (название изменено). Разрез, используя технологии селективной выемки, обеспечил отгрузку низкосольного угля марки «Д» для приготовления пылеугольного топлива (РСІ) российским и китайским металлургическим компаниям, так как добытый уголь уже обладает уникальными свойствами, такими, как низкое содержание серы и фосфора, что делает возможным его применение в металлургическом производстве, прежде всего ферросплавов, в качестве высокореакционного углеродистого восстановителя.

Технологию, которая снижает экологическую нагрузку и позволяет уменьшить расход кокса до 30%, пока внедряют только Evraz и НЛМК. Далее, ввиду дефицита электроэнергии в зоне работы разреза «Угольный», руководством компании принято решение об освоении на месте добычи перспективной технологии карбонизации угля в слоевом газификаторе (технология «Термококк-С»): с точки зрения экономической и экологической эффективности целесообразно

но сжигать только летучие компоненты угля, а коксовый остаток использовать как технологическое топливо с более высокой потребительской стоимостью, чем исходный уголь. Применение технологии имеет два направления. При первом добываемый уголь подается на дробильно-сортировочный комплекс, где делится на два потока: часть угля отгружается потребителю (в том числе для РСІ), а определенный класс угля направляется на блок производства карбонизата и генераторного газа (газового топлива) на территории арендуемой компанией ТЭЦ с установленной электрической мощностью 91 МВт. По проекту получаемый кусковой карбонизат отгружается потребителю (в том числе в виде бездымного коммунально-бытового топлива), а генераторный газ подается в котельный цех для сжигания в паровых котлах и далее — в турбинный цех для генерации электроэнергии. При втором направлении модульный пилотный вариант такого энерготехнологического комплекса с годовой производительностью по карбонизату 100 тыс. т и по электроэнергии 70 млн кВт·ч предполагается запустить непосредственно на угольном разрезе с целью обеспечения текущей потребности предприятия в тепле и электроэнергии. Следует отметить, что серийным производством газификаторов заинтересовался завод химического машиностроения, имеющий для этого все необходимые компетенции.

Приведенные примеры показывают реальную возможность успешного апгрейда ПЦ за счет формирования новых высокотехнологичных межотраслевых производственных сетей в рамках действующих угольных шахт и разрезов. Они не только позволят сформировать более устойчивые ПЦ, но и снизить социально-экономические и экологические риски, в том числе при закрытии угольных предприятий.

Заключение

Несмотря на формирующуюся в настоящее время парадигму безуглеродной концепции развития энергетики, угольная отрасль может быть сохранена благодаря поддержке трансформации ПЦ на основе повышения ее стрессоустойчивости за счет внедрения новых гибких технологий и учета специфики отдельных компаний.

Эти технологии способны не только повысить устойчивость отрасли в условиях текущего кризиса, но и сформировать новый вектор ее развития, опирающийся на гибкую технологическую интеграцию и сквозное управление производственных цепочек.

Для успешного внедрения стрессоустойчивых технологий необходимо учитывать целый комплекс нетехнологических факторов и использовать дифференцированный подход к трансформации ПЦ, опирающийся на оценку их стрессоустойчивости. Это позволит повысить рентабельность внедряемых технологий,

сформирует сквозное управление угольными ПЦ, увеличит устойчивость существующих и вновь создаваемых угольных производственных цепочек.

При выборе новых перспективных технологий важно учитывать и экологический аспект, при этом оценивая возможность их включения в производственные цепочки, также нужно рассматривать сквозь призму стрессоустойчивости. Это позволит превратить их из источника роста затрат в инструмент гибкого сквозного управления ПЦ в угольной отрасли и позволит несмотря на риски и нестабильность обеспечить устойчивое развитие отечественной угольной отрасли.

В создании научной статьи принимал участие д.х.н. Ю.Ф. Патраков (заведующий лабораторией научных основ технологий обогащения угля (ФИЦ УУХ СО РАН), им были даны значимые рекомендации по проведению технологической экспертизы результатов патентных исследований и отбору кейсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смородинская Н. В., Катуков Д. Д.* Распределенное производство в условиях шока пандемии: уязвимость, резильентность и новый этап глобализации // *Вопросы экономики*. — 2021. — № 12. — С. 21–47. DOI: 10.32609/0042-8736-2021-12-21-47.

2. *Ruel S., El Baz J., Ivanov D., Das A.* Supply chain viability: conceptualization, measurement, and nomological validation // *Annals of Operations Research*. 2021, pp. 1–30. DOI: 10.1007/s10479-021-03974-9.

3. *Sturgeon T. J.* How do we define value chains and production networks? // *IDS Bulletin*. 2001, vol. 32, no. 3, pp. 9–18. DOI: 10.1111/j.1759-5436.2001.mp32003002.

4. *Martin R. L.* Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks // *Journal of Economic Geography*. 2012, vol. 12, no. 1, pp. 1–32. DOI: 10.1093/jeg/lbr019.

5. *Aldighetti R., Battini D., Ivanov D., Zennaro I.* Costs of resilience and disruptions in supply chain network design models: a review and future research directions // *International Journal of Production Economics*. 2021, vol. 235, no. 1, article 108103. DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108103.

6. *Giannakis E., Bruggeman A.* Regional disparities in economic resilience in the European Union Across the Urban–Rural Divide // *Regional Studies*. 2020, vol. 54, no. 9, pp. 1200–1213. DOI: 10.1080/00343404.2019.1698720.

7. *Nikitenko S. M., Goosen E. V., Fedulova E. A., Rada A. O.* Modeling flexible value chains based on clean coal technologies // *Eurasian Mining*. 2022, vol. 2, pp. 25–29. DOI: 10.17580/em.2022.02.06.

8. Гоосен Е. В., Никитенко С. М., Клишин В. И., Каган Е. С., Патраков Ю. Ф. Стрессоустойчивость цепочек добавленной стоимости и стратегии поведения компаний в российской угольной отрасли // Горные науки и технологии. — 2022. — № 7(4). — С. 330–342. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-09-15.

9. Gereffi G., Humphrey J., Sturgeon T. The governance of global value chains // Review of international political economy. 2005, vol. 12, no. 1, pp. 78–104. DOI: 10.1080/09692290500049805.

10. Кондратьев В. Б. Глобальные цепочки стоимости, «индустрия 4.0» и промышленная политика // Журнал Новой экономической ассоциации. — 2018. — № 3(39). — С. 162–170. DOI: 10.31737/2221-2264-2018-39-3-11.

11. Особенности процесса глобализации в отраслях и комплексах мировой экономики / Под ред. В.Б. Кондратьева. — М.: ИМЭМО РАН, 2020. — 245 с.

12. Pietrobelli C., Olivari J. Special issue on mining value chains: innovation and learning // Resources Policy. 2018, vol. 58, no. 1, pp. 13–14. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.05.010.

13. Никитенко С. М., Гоосен Е. В., Королев М. К., Месяц М. А., Федулова Е. А., Кононова С. А. Новые угольные технологии: тенденции и перспективы // Уголь. — 2022. — № S12. — С. 4–10. DOI: DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-4-10.

14. Синицын А., Накорякова А., Пиналкина В. Перспективы развития угольной промышленности в России: экспортный потенциал, финансовое положение, социально-экономические эффекты. — М.: ЦСР, 2020. — 183 с.

15. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А. Парижское соглашение по климату, Covid-19 и водородная энергетика — новые реалии добычи и потребления угля в странах ЕС и Азии в период до 2040 года // Горная промышленность. — 2021. — № 1. — С. 83–90. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-83-90.

16. Коликов К. С., Фан Туан Ань, Хусаинов Р. А., Матниязова Г. И. Исследование влияния параметров конструкции скважин на эффективность извлечения метана при использовании подземного гидроразрыва // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 12. — С. 152–165. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_152.

17. Жуйков А. В., Глушков Д. О. Характеристики совместного сжигания каменного угля и лесной биомассы в условиях неизотермического нагрева с оценкой склонности топливной смеси к шлакованию поверхностей нагрева // Кокс и химия. — 2022. — № 8. — С. 7–15. DOI: 10.52351/00232815_2022_08_7.

18. Froese R. E., Shonnard D. R., Miller C. A. An evaluation of greenhouse gas mitigation options for coal- red power plants in the US Great Lakes States // Biomass Bio-energy. 2010, vol. 34, no. 3, pp. 251–262. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.10.013.4.

19. Янковский С. А., Кузнецов Г. В. Особенности физико-химических превращений смесевых топлив на основе типичных каменных углей и древесины при нагреве // Химия твердого топлива. — 2019. — № 1. — С. 26–33. DOI: 10.1134/S0023117719010080.3 EDN: YVTUIX.

20. Kanwal F., Ahmed A., Jamil F., Rafiq S., Ayub H. M. U., Ghauri M., Khurram Sh., Munir Sh., Inayat A., Bakar M. S. A., Moogi S., Lam S. S., Park Y-K. Co-Combustion of blends of coal and underutilised biomass residues for environmental friendly electrical energy production // Sustainability. 2021, vol. 13, no. 9, pp. 48–81. DOI: 10.3390/su13094881.5.

21. Glushkov D. O., Matiushenko A. I., Nurpeiis A. E., Zhuikov A. V. An experimental investigation into the fuel oil-free start-up of a coal-red boiler by the main solid fossil fuel with additives of brown coal, biomass and charcoal for ignition enhancement // Fuel Processing Technology. 2021, vol. 223, no. 10, pp. 69–86. DOI: 10.1016/j.fuproc.2021.106986.15.

22. Bartos P. J. Is mining a high-tech industry? Investigations into innovation and productivity advance // Resources Policy. 2007, vol. 32, no. 4, pp. 149–158. DOI: 10.1016/j.resourpol.2007.07.001.

23. Molina O. Innovation in an unfavorable context: Local mining suppliers in Peru // Resources Policy. 2018, vol. 58, pp. 34–48. DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.10.011.

24. Крюков В., Фридман Ю., Речко Г., Маркова В. Углекислотный кластер в Кузбассе: между нефтью, газом и будущим? // ЭКО. – 2021. – № 51. – С. 97–110. DOI: 10.30680/ЕСО0131-7652-2021-7-97-110.

25. Мочалова Л. А., Соколова О. Г., Подкорытов В. Н., Еремеева О. С. Организация циркулярного промышленного кластера в условиях минерально-сырьевого комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11-1. – С. 374–387. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_374.

26. Александрова Т. Н., Николаева Н. В., Артамонов И. С. Оптимизация композиционного состава топливных брикетов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 6-2. – С. 149–160. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_149. **ГИАЭ**

REFERENCES

1. Smorodinskaya N. V., Katukov D. D. Distributed production under the pandemic shock: Vulnerability, resilience and the new stage of globalization. *Voprosy Ekonomiki*. 2021, no. 12, pp. 21–47. [In Russ]. DOI: 10.32609/0042-8736-2021-12-21-47.

2. Ruel S., El Baz J., Ivanov D., Das A. Supply chain viability: conceptualization, measurement, and nomological validation. *Annals of Operations Research*. 2021, pp. 1–30. DOI: 10.1007/s10479-021-03974-9.

3. Sturgeon T. J. How do we define value chains and production networks? *IDS Bulletin*. 2001, vol. 32, no. 3, pp. 9–18. DOI: 10.1111/j.1759-5436.2001.mp32003002.

4. Martin R. L. Regional Economic Resilience, Hysteresis and Recessionary Shocks. *Journal of Economic Geography*. 2012, vol. 12, no. 1, pp. 1–32. DOI: 10.1093/jeg/lbr019.

5. Aldrighetti R., Battini D., Ivanov D., Zennaro I. Costs of resilience and disruptions in supply chain network design models: a review and future research directions. *International Journal of Production Economics*. 2021, vol. 235, no. 1, article 108103. DOI: 10.1016/j.ijpe.2021.108103.

6. Giannakis E., Bruggeman A. Regional disparities in economic resilience in the European Union Across the Urban–Rural Divide. *Regional Studies*. 2020, vol. 54, no. 9, pp. 1200–1213. DOI: 10.1080/00343404.2019.1698720.

7. Nikitenko S. M., Goosen E. V., Fedulova E. A., Rada A. O. Modeling flexible value chains based on clean coal technologies. *Eurasian Mining*. 2022, vol. 2, pp. 25–29. DOI: 10.17580/em.2022.02.06.

8. Goosen E. V., Nikitenko S. M., Klishin V. I., Kagan E. S., Patrakov Yu. F. Value chain stress resilience and behavioral strategies of companies in Russian coal industry. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022, no. 7(4), pp. 330–342. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-09-15.

9. Gereffi G., Humphrey J., Sturgeon T. The governance of global value chains. *Review of international political economy*. 2005, vol. 12, no. 1, pp. 78–104. DOI: 10.1080/09692290500049805.

10. Kondratiev V. B. Global value chains, Industry 4.0 and industrial policy. *Journal of the New Economic Association*. 2018, no. 3(39), pp. 162–170. [In Russ]. DOI: 10.31737/2221-2264-2018-39-3-11.

11. *Osobennosti protsessa globalizatsii v otraslyakh i kompleksakh mirovoy ekonomiki*. Pod red. V. B. Kondrat'eva [Features of the process of globalization in industries and complexes of the world economy. Kondrat'ev V. B. (ed.)], Moscow, IMEMO RAN, 2020. 245 p.

12. Pietrobelli C., Olivari J. Special issue on mining value chains: innovation and learning. *Resources Policy*. 2018, vol. 58, no. 1, pp. 13–14. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.05.010.

13. Nikitenko S. M., Goosen E. V., Korolev M. K., Fedulova E. A., Mesyats M. A., Kononova S. A. New coal technologies: trends and prospects. *Ugol'*. 2022, no. S12, pp. 4–10. [In Russ]. DOI: DOI: 10.18796/0041-5790-2022-S12-4-10.

14. Sinitsyn A., Nakoryakova A., Pinalkina V. *Perspektivy razvitiya ugol'noy promyshlennosti v Rossii eksportnyy potentsial, finansovoe polozhenie, sotsial'no-ekonomicheskie efekty* [Prospects for the development of the coal industry in Russia, export potential, financial situation, socio-economic effects], Moscow, TsSR, 2020. 183 p.

15. Plakitkina L. S., Plakitkin Yu. A. Paris agreement on climate change, Covid-19 and hydrogen energy – new realities of coal mining and consumption in the EU and Asia in the period until 2040. *Russian Mining Industry*. 2021, no. 1, pp. 83–90. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-83-90.

16. Kolikov K. S., Phan Tuan Anh, Khusainov R. A., Matniazova G. I. Impact of borehole design on methane recovery efficiency in hydraulic fracturing. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 12, pp. 152–165. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_12_0_152.

17. Zhuikov A. V., Glushkov D. O. Characteristics of co-combustion of hard coal and forest biomass under non-isothermal heating conditions with evaluation of the propensity of the fuel mixture to slagging of heating surfaces. *Koks i khimiya*. 2022, no. 8, pp. 7–15. [In Russ]. DOI: 10.52351/00232815_2022_08_7.

18. Froese R. E., Shonnard D. R., Miller C. A. An evaluation of greenhouse gas mitigation options for coal- red power plants in the US Great Lakes States. *Biomass Bio-energy*. 2010, vol. 34, no. 3, pp. 251–262. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.10.013.4.

19. Yankovsky S. A., Kuznetsov G. V. Features of physical and chemical transformations of mixed fuels based on typical hard coals and wood during heating. *Khimiya tverdogo topliva*. 2019, no. 1, pp. 26–33. [In Russ]. DOI: 10.1134/S0023117719010080.3 EDN: YVTUIX.

20. Kanwal F., Ahmed A., Jamil F., Rafiq S., Ayub H. M. U., Ghauri M., Khurram Sh., Munir Sh., Inayat A., Bakar M. S. A., Moogi S., Lam S. S., Park Y-K. Co-Combustion of blends of coal and underutilised biomass residues for environmental friendly electrical energy production. *Sustainability*. 2021, vol. 13, no. 9, pp. 48–81. DOI: 10.3390/su13094881.5.

21. Glushkov D. O., Matiushenko A. I., Nurpeiis A. E., Zhuikov A. V. An experimental investigation into the fuel oil-free start-up of a coal-red boiler by the main solid fossil fuel with additives of brown coal, biomass and charcoal for ignition enhancement. *Fuel Processing Technology*. 2021, vol. 223, no. 10, pp. 69–86. DOI: 10.1016/j.fuproc.2021.106986.15.

22. Bartos P. J. Is mining a high-tech industry? Investigations into innovation and productivity advance. *Resources Policy*. 2007, vol. 32, no. 4, pp. 149–158. DOI: 10.1016/j.resourpol.2007.07.001.

23. Molina O. Innovation in an unfavorable context: Local mining suppliers in Peru. *Resources Policy*. 2018, vol. 58, pp. 34–48. DOI: 10.1016/j.resourpol.2017.10.011.

24. Kryukov B., Fridman Yu., Rechko G., Markova B. A coal chemical cluster in Kuzbass: between oil, gas and the future? *ECO*. 2021, no. 51, pp. 97–110. [In Russ]. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2021-7-97-110.

25. Mochalova L. A., Sokolova O. G., Podkorytov V. N., Ereemeeva O. S. Circulation industry cluster management within the mineral mining and processing sector. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11-1, pp. 374–387. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_374.

26. Aleksandrova T. N., Nikolaeva N. V., Artamonov I. S. Optimisation of fuel briquettes composition. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022, no. 6-2, pp. 149–160. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_62_0_149.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гоосен Елена Владимировна¹ – канд. экон. наук,
доцент, ведущий научный сотрудник,
e-mail: egoosen@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1387-4802,

*Никитенко Сергей Михайлович*¹ — д-р экон. наук,
доцент, главный научный сотрудник,

e-mail: nsm.nis@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6684-4159,

*Каган Елена Сергеевна*² — канд. техн. наук,
доцент, зав. кафедрой,

e-mail: kaganes@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8470-961X,

*Рада Артем Олегович*² — канд. экон. наук,
директор, Институт Цифры,

e-mail: radaartem@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7678-8402,

*Никитина Оксана Игоревна*² — начальник отдела аналитики,
Институт Цифры, e-mail: senches@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-7869-1732,

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения РАН (ФИЦ УУХ СО РАН),

² Кемеровский государственный университет.

Для контактов: Никитенко С.М., e-mail: nsm.nis@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*E. V. Goosen*¹, Cand. Sci. (Econ.),
Assistant Professor, Leading Researcher,

e-mail: egoosen@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-1387-4802,

*S.M. Nikitenko*¹, Dr. Sci. (Econ.),
Assistant Professor, Chief Researcher,

e-mail: nsm.nis@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-6684-4159,

*E.S. Kagan*², Cand. Sci. (Eng.),
Assistant Professor, Head of Chair,

e-mail: kaganes@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-8470-961X,

*A.O. Rada*², Cand. Sci. (Econ.), Director,
Institute of Digitalization,

e-mail: radaartem@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0001-7678-8402,

*O.I. Nikitina*², Head of Analytics Department,
Institute of Digitalization,

e-mail: senches@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-7869-1732,

¹ Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry,
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,

650065, Kemerovo, Russia,

² Kemerovo State University, 650000, Kemerovo, Russia.

Corresponding author: S.M. Nikitenko, e-mail: nsm.nis@mail.ru.

Получена редакцией 24.08.2022; получена после рецензии 19.10.2022; принята к печати 10.02.2023.

Received by the editors 24.08.2022; received after the review 19.10.2022; accepted for printing 10.02.2023.

