

## ФОРМИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПОЧКАМИ СОЗДАНИЯ СТОИМОСТИ В УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С.М. Никитенко<sup>1</sup>, Л.Д. Павлова<sup>2</sup>, А.В. Корнева<sup>2</sup>, Е.В. Гоосен<sup>1</sup>, А.А. Федюнина<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

<sup>3</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

**Аннотация:** Проведен поиск новых инструментов организации и управления отечественной угольной отраслью в условиях современных внешних и внутренних вызовов, возникших в связи с расширением повестки энергоперехода и усилением глобального санкционного давления на российскую экономику. Новизна подхода состоит в том, что авторы обосновывают необходимость и возможность преодоления барьеров развития отрасли с помощью технологической интеграции и кооперации угольных компаний и компаний из смежных отраслей в рамках цепочек создания стоимости (ЦСС) на основе перспективных производственных и цифровых технологий. В первом разделе статьи раскрываются современные подходы к изучению ЦСС и роль технологий в обеспечении гибкости и устойчивости ЦСС к внешним шокам (стрессоустойчивости). Второй посвящен особенностям ЦСС в угольной отрасли, показаны типичные ЦСС, выявлены и оценены основные риски и барьеры на пути диверсификации производства и дифференциации продукции в угольной отрасли. В третьем разделе выявлены технологии, которые способны создать устойчивую для трансформации ЦСС на основе диверсификации производства и дифференциации продукта. Четвертый раздел завершается анализом практического опыта – кейса, описывающего создание инструмента организации и управления ЦСС в угольной отрасли: «Информационно-технологической платформы пилотного производства «премиальных» угольных смесей». Статья завершается выводами и предложениями для дальнейших научных исследований и практических экспериментов.

**Ключевые слова:** угольная отрасль, цепочки создания стоимости, формирование и управление ЦСС, технологическая интеграция, перспективные угольные и цифровые технологии.

**Благодарность:** Исследование выполнено в рамках проекта «Зеркальные лаборатории» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» по теме «Трансформации цепочек создания стоимости угольной отрасли и связанных с ней отраслей в условиях глобального энергоперехода и санкционного давления на российскую экономику» (Соглашение № 6.13.1-02/210723-1 от 21.07.2023 г.).

**Для цитирования:** Никитенко С. М., Павлова Л. Д., Корнева А. В., Гоосен Е. В., Федюнина А. А. Формирование и управление цепочками создания стоимости в угольной отрасли на основе перспективных технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 8. – С. 163–179. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_8\_0\_163.

---

## Formation and control of value chains in coal industry based on emerging technologies

S.M. Nikitenko<sup>1</sup>, L.D. Pavlova<sup>2</sup>, A.V. Korneva<sup>2</sup>, E.V. Goosen<sup>1</sup>, A.A. Fedyunina<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

<sup>3</sup> HSE University, Moscow, Russia

---

**Abstract:** The article discusses new tools of the domestic coal industry management and control in the conditions of the modern external and internal challenges due to the profound energy transition and the unprecedented global sanctions imposed on the Russian economy. The novelty of the approach consists in the validation of potential of overcoming development barriers in the coal industry by means of technological integration and cooperation of coal companies and companies from the linked industries in the framework of value chains based on emerging manufacturing and digital technologies. The first section of the article reviews the modern approaches to the analysis of value chains and the role of the technologies in flexibility and sustainability of value chains relative to external shocks (stress resistance). The second section describes specifics of value chains in the coal industry, presents typical value chains, and reveals and assesses risks and barriers on the avenue toward production diversification and product differentiation in the coal industry. The third section identifies technologies capable to create transformation-resistant value chains on the basis of production diversification and product differentiation. The fourth section analyzes a case-study of creation of a tool for the value chain organization and control in the coal industry: Information and Technology Platform for the Pilot Production of Premium Coal Blends. The article ends with the conclusions and proposals for the further theoretical research and experimental practice.

**Key words:** coal industry, value chains, value chain formation and management, technological integration, emerging coal and digital technologies.

**Acknowledgements:** The study was supported within the HSE «Mirror Laboratories» Project, Topic: Transformation of Value Chains in the Coal and 6.13.1-02/210723-1 dated 21 July 2023.

**For citation:** Nikitenko S. M., Pavlova L. D., Korneva A. V., Goosen E. V., Fedyunina A. A. Formation and control of value chains in coal industry based on emerging technologies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(8):163-179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_8\_0\_163.

---

### Введение

Развитие человечества всегда сопровождалось и сопровождается ростом потребления энергии. Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) определяет возможности и приоритеты дальнейшего развития экономики и общества. Ископаемые энергоресурсы являлись и в обозримом будущем останутся основным источником этой энергии и глубинной

основой развития экономики. В современных условиях — это новая парадигма развития экономики предложения, опирающейся на гибкие экологически чистые технологии.

На сегодняшний день в наиболее уязвимом положении оказалась угольная отрасль. Она столкнулась с целым рядом внешних и внутренних вызовов: истощение легкодоступных ресурсов,

ухудшение геотехнологических условий их добычи, старение и рост зависимости от импорта оборудования, закрытие традиционных направлений экспортных поставок, разрыв сложившихся связей, рост конкуренции на внешних рынках, повышение рисков и общей нестабильности. Наиболее чувствительны ограничения, связанные с политикой энергоперехода и обострением геополитической обстановки. Преодолеть барьеры развития и ответить на вызовы невозможно без изменения структуры и организации ее управления на основе гибких ЦСС, опирающихся на диверсификацию производства и дифференциацию выпускаемой продукции.

Цель статьи состоит в поиске новых подходов к организации и управлению ЦСС в угольной отрасли на основе углубления дифференциации продуктов угледобычи и технологической интеграции компаний, позволяющих обеспечить гибкость и адаптацию отрасли к внешним и внутренним вызовам.

#### **Объект и методы исследования**

Объектом анализа в рамках данной статьи были выбраны типичные ЦСС, сложившиеся в российской и мировой угольной отрасли. Для этого были проанализированы официальные сайты крупнейших китайских, индийских и российских компаний, а также данные Федеральной службы государственной статистики РФ, ЦДУ ТЭК, АО «Росинформуголь» и электронной системы «СБИС» о 92 компаниях, действующих в период с 2010 по 2021 г. Временной период был определен границами двух волн кризисов 2010–2017 гг. и 2018–2021 гг. В качестве источников также были использованы статистические данные и официальные документы компаний. Сбор патентной информации был проведен в информационной среде Orbit Intelligence по всем доступным па-

тентным офисам начиная с 01.01.2002 и включает в себя данные за период 2002–2024 гг. Патентная коллекция актуальна на 22.01.2024. Для уточнения данных был проведен опрос экспертов из числа специалистов в угледобыче и переработке угля.

Для типологизации угольных ЦСС была использована методология [1], которая отражает различия в их организации и управлении. В статье предложен следующий алгоритм анализа:

- описание особенностей и типологизация ЦСС, сложившихся в мировой и российской угольной отрасли;
- выявление ключевых рисков и оценка возможности их снижения на основе диверсификации производства и дифференциации продукта;
- разбор кейса, иллюстрирующего эти процессы и показывающего роль цифровых технологий в управлении этими процессами.

#### *Степень изученности проблемы*

Уголь является вторым по значимости топливом в мире и продолжает играть ключевую роль в энергетике, металлургии и ряде других отраслей. При этом исследований, посвященных изучению особенностей ЦСС в угольной отрасли и подходам к управлению ими, практически нет [2, 3]. Это можно объяснить целым рядом факторов: негативным отношением к угольной отрасли в рамках климатической повестки энергоперехода, относительной новизной концепта ЦСС и его приспособленностью для анализа обрабатывающих отраслей, более поздним и незавершенным формированием ЦСС в добывающих отраслях, спецификой производственных процессов и организации управлением компаниями в угольной отрасли.

Концепт цепочек создания стоимости — достаточно новое явление. До 90-х годов XX в. базовой единицей ана-

лиза отрасли была компания. Однако активное формирование распределенной (сетевой) модели организации производства привело к географическому и функциональному усложнению производственного цикла, к усилению технологической и межфирменной кооперации и интеграции и, тем самым, к формированию ЦСС [4–6]. Это стало толчком к формированию эвристического концепта ЦСС. Наиболее известным является определение ЦСС, данное Т. Стерджемом: ЦСС «... – это полный набор действий, который необходим для того, чтобы осуществить продвижение продукта от момента возникновения его концепции до конечного потребителя через все стадии производства, включая разработку и дизайн, обеспечение поставок сырья и промежуточных компонентов, собственно производство, маркетинг и организацию сбыта, а также обеспечение послепродажного обслуживания» [7]. Последние исследования превратили эвристический инструмент ЦСС в аналитический инструмент, объясняющий логическую структуру, риски и организацию управления компаний добывающих отраслей [8, 9], в том числе угольной отрасли [10, 11].

Кризисные явления в мировой экономике, и особенно шоки, вызванные энергопереходом, пандемией Covid-19 и последним энергетическим кризисом, привели к разрыву глобальных и локальных цепочек создания стоимости, остро поставили проблемы приспособления ЦСС к этим процессам. Процессы управления организационными изменениями цепочек получили название апгрейда ЦСС, который в научных исследованиях рассматривается в двух аспектах:

- как продвижение страны, фирмы и т.д. вверх по цепочке создания стоимости, позволяющее войти в состав звеньев ЦСС, производящих продукты

с более высокой добавленной стоимостью [12, 13];

- как процесс трансформации цепочек создания стоимости, направленный на повышение их стрессоустойчивости (гибкости и адаптируемости) в условиях внешних и внутренних шоков за счет диверсификации производства и дифференциации продукции, горизонтальной и вертикальной интеграции [14].

Второй подход шире и позволяет определить перспективные технологии, способные обеспечить такую трансформацию ЦСС в угольной отрасли, поэтому именно он использован в данной статье [15–19].

*Типичные ЦСС и барьеры диверсификации производства и дифференциации продукции в угольной отрасли*

Особенности угольных ЦСС определяются ресурсным характером отрасли по методологии К. Павитта [20]. Уголь выступает начальным звеном цепочки создания стоимости, в которой существенная часть добавленной стоимости создается в смежных отраслях: в энергетике, металлургии, за счет переработки, производства и сбыта. На уголь приходится небольшая часть стоимости конечного продукта, при этом в цепочке он играет в ней очень важную роль. Первичные затраты, качество угольных активов и их местоположение во многом определяют конечную величину добавленной стоимости и конкурентоспособность входящих в ЦСС компаний.

Различия в качественном составе углей ведут к жесткой привязке добывающих компаний к конкретным потребителям, но не порождают специализации производства в традиционном понимании.

В силу зависимости от горно-геологических условий, качественного и количественного состава ресурсов в уголь-

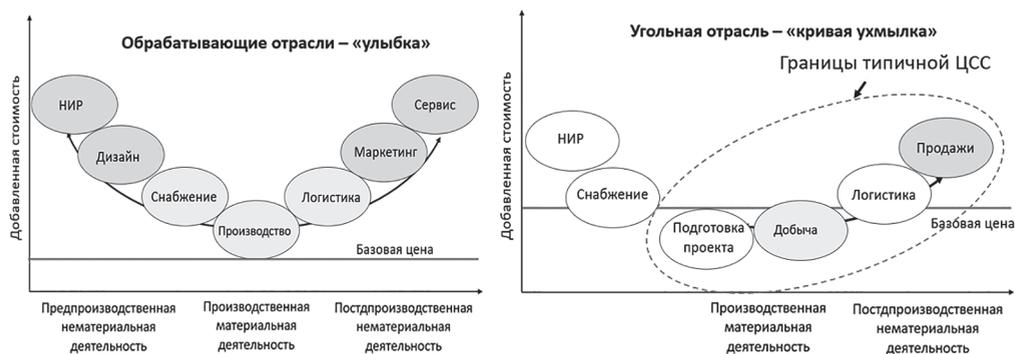


Рис. 1. Особенности ЦСС в угольной отрасли (составлено авторами)

Fig. 1. Features of value chains in coal industry (compiled by the authors)

ных цепочках большая часть добавленной стоимости приходится на стадию производства.

Ресурсный характер угольной отрасли порождает и другие особенности угольных ЦСС: высокую капиталоемкость, неустойчивость — значительную зависимость от колебания спроса и цен (особенно на внешних рынках), низкую восприимчивость к инновациям, ограниченные возможности диверсификации производства и дифференциации выпускаемой продукции, организационную нестабильность [21 — 23]. Долговременная устойчивость угольных ЦСС, особенно в период кризисов, обеспечивается государством и связанными с ним институтами. За эти свои особенности она получила название «кривой ухмылки» (рис. 1).

Сама цепочка создания стоимости по сравнению с обрабатывающими отраслями является более короткой и имеет достаточно простую (lean) аддитивную структуру (линейная последовательность операций). Она включает в себя звенья, занятые основными производственными процессами: геологоразведкой и подготовительными работами, добычей и обогащением угля, транспортировкой и продажей [22 — 24].

Далеко не все угольные ЦСС включают в свой состав такие обычные для

обрабатывающих отраслей звенья, как сервисные, финансовые и исследовательские структуры. Исключение составляют отдельные иерархические и захватнические ЦСС по методологии Gereffi et al. [1]. Первые представлены крупными вертикально интегрированными компаниями анклавного типа (Glencore, BHP Biliton, Anglo American, СУЭК, «Кузбассразрезуголь»), вторые — государственными угольными компаниями Индии и Китая (Coal India Ltd., China Shenhua Energy, Shaanxi Coal and Chemical Industry Group Co. Ltd). Из российских компаний в определенной степени к захватническим компаниям можно отнести АО ХК СДС и группу компаний «Распадская» [25]. В них единство и стабильность звеньев ЦСС обеспечивается внешними факторами: властью крупной доминирующей компании (иерархические ЦСС) или властью государства (захватнические ЦСС). Это позволяет обеспечить долговременную стабильность ЦСС, а также создавать, захватывать и удерживать максимум добавленной стоимости.

В табл. 1 приведены типичные ЦСС, получившие распространение в российской угольной отрасли.

Однако внешний механизм поддержания единства не формирует внутренних факторов устойчивости ЦСС. Эффек-

Таблица 1

**Основные типы российских угольных ЦСС\***  
**Main types of coal value chains in Russia**

Тип цепочки / преобладающие связи	Способ обеспечения устойчивости	Способность к кооперации с другими участниками рынка / типичная доля рынка	Уровень устойчивости
Рыночный, горизонтальные связи	Работа на локальный рынок, неформальные связи, госконтракты	низкая / незначительная	низкий
Захватнический / внешние вертикальные и горизонтальные связи	Контроль торговых и логистических операций со стороны крупной добывающей компании. Экспортные доходы	низкая, ограничена асимметричным взаимодействием с ведущей компанией / 1–2%	низкий
Иерархический / вертикальные	Контроль за всеми операциями и взаимодействиями со стороны крупной добывающей компании. Перераспределение доходов в пользу вышестоящих звеньев. Экспортные доходы	низкая, ЦСС носит закрытый анклавный характер / 4–20%	средний

\* Составлено авторами на основе данных компаний по методологии Gereffi et al., 2005 [1].

тивность и устойчивость ЦСС зависит не только от показателей ведущей фирмы и отдельных компаний, входящих в ее состав, но обеспечивается результатом деятельности ЦСС в целом. Последнее возможно только в том случае, если в рамках ЦСС создаются разнообразные формы горизонтального и вертикального сотрудничества и кооперации, опирающиеся на глубокое разделение труда и технологическую и рыночную интеграцию. Без этого крайне трудно создать устойчивые ЦСС [26]. И только разработка новейших гибких экологически чистых технологий добычи и переработки угля и начало внедрения цифровых технологий в конце 2000-х годов создали реальную возможность апгрейда угольных ЦСС на основе внутренних факторов устойчивости: диверсификации производства и дифференциации продукции.

Пандемия, вызванная Covid-19, и текущий энергетический кризис превратили эту возможность в настоятельную необходимость.

*Перспективные направления трансформации угольных ЦСС на основе диверсификации производства и дифференциации продукции*

В.Б. Кондратьев выделяет четыре типа трансформации ЦСС:

1. совершенствование технологического и производственного процесса;
2. совершенствование или дифференциация продукта, производимого в рамках ЦСС;
3. поиск менее конкурентных ниш в стоимостных цепочках,
4. усложнение (сетевизация) структуры или создание новой цепочки стоимости [2].

Они все могут помочь компаниям, входящим в состав ЦСС в угольной отрасли, изменить структуру управления, снизить риски, повысить гибкость и адаптивность, а значит стать более устойчивыми и эффективными. Отталкиваясь от определения трансформации ЦСС как процесса изменения структуры и управления цепочек создания стоимости, на

Таблица 2

**Примеры перспективных технологий и возможные эффекты от трансформации ЦСС\***  
**Emerging technologies and potential effects of value chain transformation**

Группы технологий	Эффекты	Изменение структуры ЦСС
Технологии прогноза горно-геологических показателей месторождений и технологии выборочной выемки угля	Совершенствование процессов добычи угля. Снижение производственных и логистических расходов. Снижение объемов и рецилинг отходов	Дифференциация продуктов на основе создания новых заранее заданных свойств продуктов угледобычи. Стимулирование прямых вертикальных и горизонтальных кооперационных связей компаний в рамках ЦСС
Технологии совместного сжигания разных энергоресурсов: - создания угольных и топливных смесей; - технологии кипящего слоя для эффективного сжигания и газификации биомассы; - мобильные энергетические комплексы когенерации и тригенерации с использованием бытовых отходов	Совершенствование технологий получения энергии, повышение КПД и эффективности распределенной энергетики. Дифференциация продуктов на основе специальных типов энергоресурсов с заранее заданными свойствами и использование некондиционных ресурсов. Снижение производственных и логистических расходов. Снижение объемов отходов и рецилинг отходов	Повышение гибкости и адаптивности ЦСС, снижение зависимости от спроса и цен. Стимулирование прямых вертикальных и горизонтальных кооперационных связей компаний в рамках ЦСС. Снижение уровня межтопливной конкуренции
Технологии рециклинга угольных отходов и золошлаковых отходов теплоэлектростанций	Дифференциация продуктов на основе использования некондиционных ресурсов. Снижение объемов и рецилинг отходов	Создание низкоконкурентных товарных ниш. Стимулирование прямых вертикальных и горизонтальных кооперационных связей компаний в рамках ЦСС
* Составлено авторами на основе данных Orbit Intelligence и опроса экспертов.		

основе диверсификации производства и дифференциации продукции, горизонтальной и вертикальной интеграции [14], авторы статьи смогли определить возможные области трансформации ЦСС и соответствующие им группы технологий. Источниками исследования стали данные официальных сайтов крупнейших угледобывающих компаний, патентные данные, результаты опроса экспертов и вторичный анализ опросов руководителей добывающих компаний, проведенных зарубежными и отечественными

аналитическими и консалтинговыми агентствами. Перспективные технологии, способные обеспечить такую трансформацию и функционально совместимые с современным состоянием угольной отрасли, приведены в табл. 2. Также в ней показаны возможные эффекты от трансформации ЦСС в угольной отрасли.

Важно отметить, что многие из представленных в таблице технологий являются достаточно зрелыми, их можно уже сейчас внедрять в производство, что демонстрируют в первую очередь ки-

тайские компании. При этом отдача от внедрений резко растет в случае их совмещения с интероперабельными (функционально совместимыми) цифровыми технологиями.

Комплексные исследования влияния цифровых технологий на повышение стрессоустойчивости мировой горнодобывающей промышленности были проведены Barnewold and Lottermoser в 2020 и Clausen & Sørensen в 2021 г. [27, 28]. Они позволили выявить 15 наиболее востребованных технологий, способных повлиять на изменение способов добычи полезных ископаемых и металлов и обеспечить трансформацию ЦСС в этих отраслях. В качестве источников исследований выступили обзоры литературы и полуструктурированные интервью мировых экспертов. Среди наиболее часто упоминаемых технологий, способных сформировать стрессоустойчивые ЦСС, были названы: автома-

тизация, IoT, центры удаленного управления, подключенные работники, робототехника, дроны, электрификация, 3D-печать, интегрированные программные платформы, продвинутая аналитика, моделирование и визуализация, облачные вычисления, управление большими данными, кибербезопасность и электронное обучение. Опрос экспертов и практиков из числа руководителей российских компаний в целом подтвердил эти выводы. На рис. 2 показаны наиболее востребованные в сфере управления в крупных добывающих компаниях цифровые технологии (% упомянуты в источниках), которые были проанализированы в рамках упомянутых исследований. Эти технологии влияют на различные организационные уровни внутри организации.

В исследовании различались операционный (зеленый), организационный (желтый) и лидерский (красный) уровни

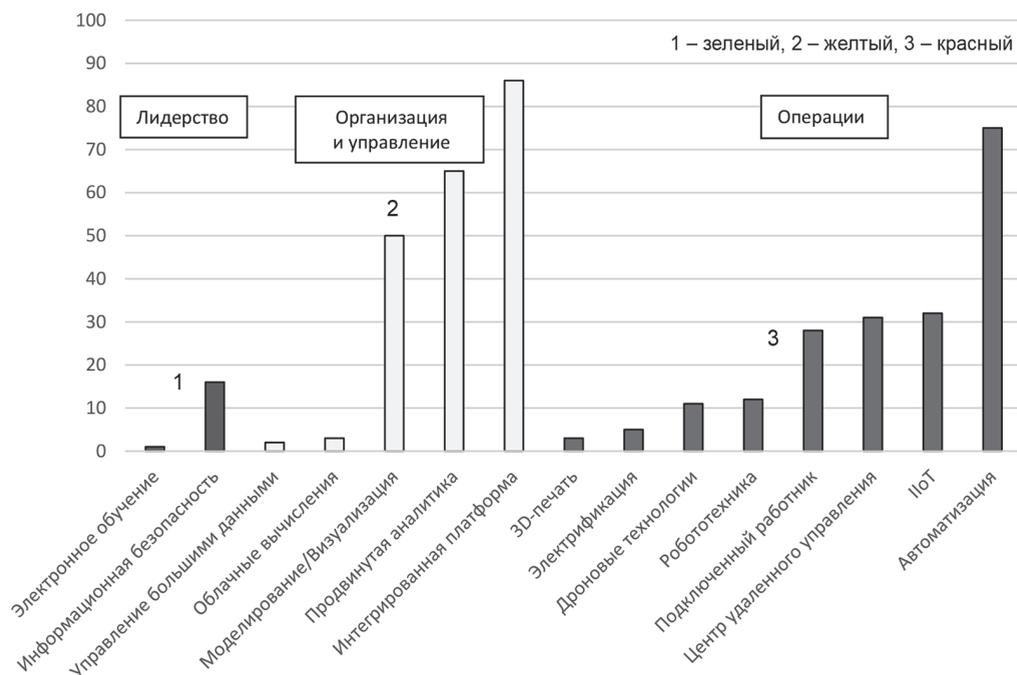


Рис. 2. Цифровые технологии, наиболее востребованные в управлении в добывающих отраслях [29]

Fig. 2. Digital technologies in the highest demand in extractive industry management [29]

процессов управления ЦСС и компаний. Организационный уровень управления как раз преимущественно направлен на трансформацию ЦСС [28]. Исследование показало, что помимо решения долгосрочных задач эти 15 технологий способны снижать текущие затраты компаний, то есть не противоречат повышению рентабельности и эффективности производства. Автоматизация, ИИТ, центры удаленного управления и подключенные работники способны снизить операционные затраты с помощью повышения безопасности за счет удаления людей из зон повышенного риска, обеспечивают мониторинг их здоровья и местонахождения. Исследование также показало сильное влияние на процессы управления ЦСС интегрированных программных платформ, технологий визуализации и моделирования и анализа данных. Эти технологии не только способны генерировать и собирать данные на оперативном уровне, но и становятся основой для принятия решений в области долгосрочной трансформации ЦСС. Самой востребованной технологией в организационном уровне в добывающих отраслях оказались интегрированные платформы.

Для иллюстрации и подтверждения полученных выводов авторы подробно проанализировали кейс, описывающий внедрение способов аэрогравиметрического и магнитного обогащения, а также автотермической сушки влажной мелкофракционной угольной продукции в сочетании с цифровой трансформацией технологических процессов, реализуемой в форме информационно-технологической платформы пилотного производства «премиальных» (проектных) угольных смесей.

Реализация проекта позволит использовать в энергетике угольную продукцию с высокой теплотворной способностью и низким содержанием балластных и

вредных примесей, что позитивно повлияет на гибкость угольного рынка. В перспективе возможно создание, в частности в Кузбассе, нескольких территориально распределенных по региону углесортировочных комплексов по формированию угольных смесей заданного качества, что позволит оптимизировать затраты и обеспечить значительное снижение объема вредных выбросов в атмосферу [29, 30]. По сути, речь идет о возможности формирования в Кузбассе общероссийской информационно-логистической системы, обеспечивающей эффективное функционирование угледобывающей отрасли в формате «угольного хаба», что соответствует основному содержанию Послания Федеральному Собранию Президента России В.В. Путина (май 2006 г.): «... необходимо организовать на территории России биржевую торговлю нефтью, газом и другими товарами».

*Кейс. Информационно-технологическая платформа пилотного производства «премиальных» угольных смесей*

Задача управления запасами угля, технологиями переработки, контроля качества и перемещения продукции является критически важной для угольной отрасли. Соответственно, проектирование базы данных углей, как первый этап формирования информационно-технологической платформы производства «премиальных» угольных смесей, позволяет эффективнее осуществлять управление этими процессами [31].

Разработанная авторами база данных содержит описание блоков добычи угля и их характерные общие признаки, отражающие генетические особенности и основные технологические характеристики.

В качестве базовых параметров классификации использованы параметры,

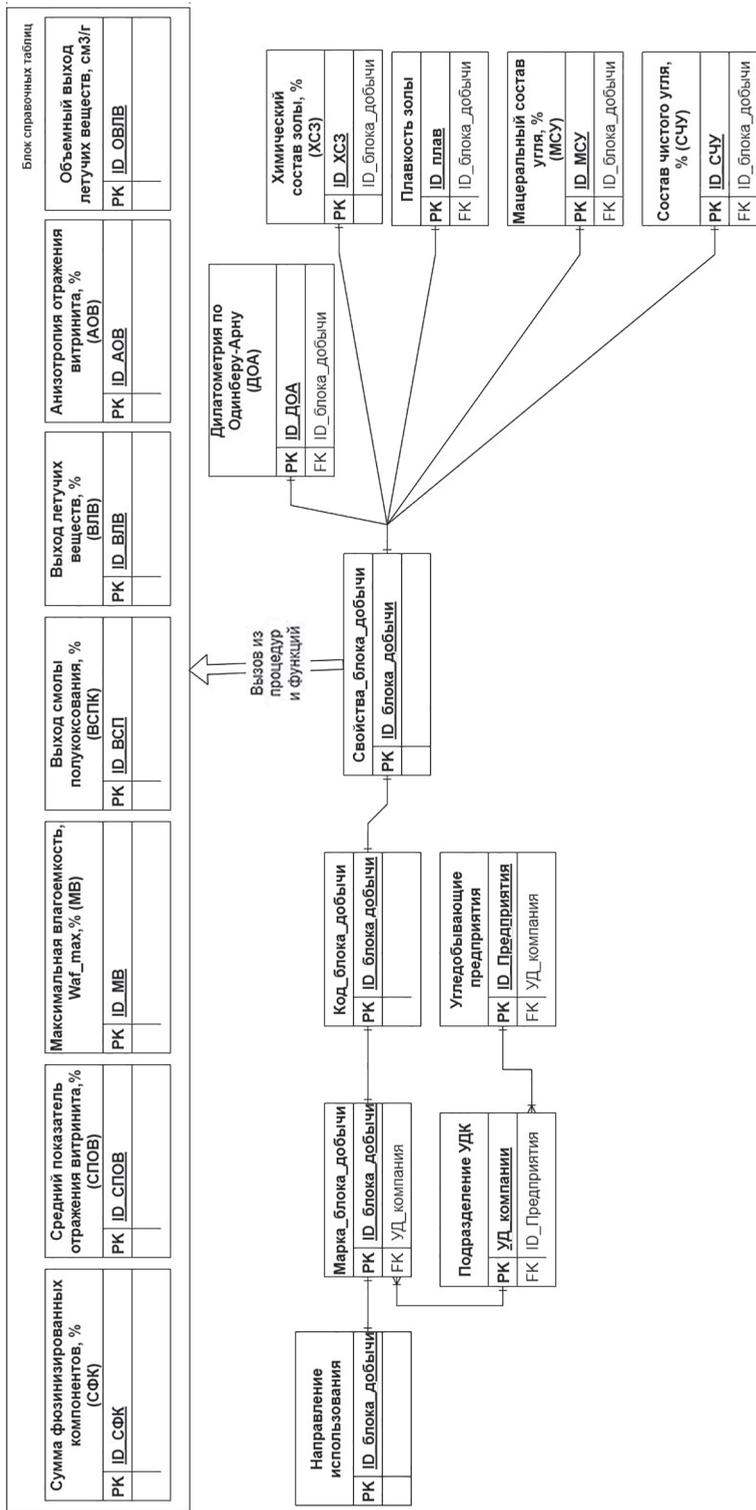


Рис. 3. ER-модель базы данных  
Fig. 3. ER model of database

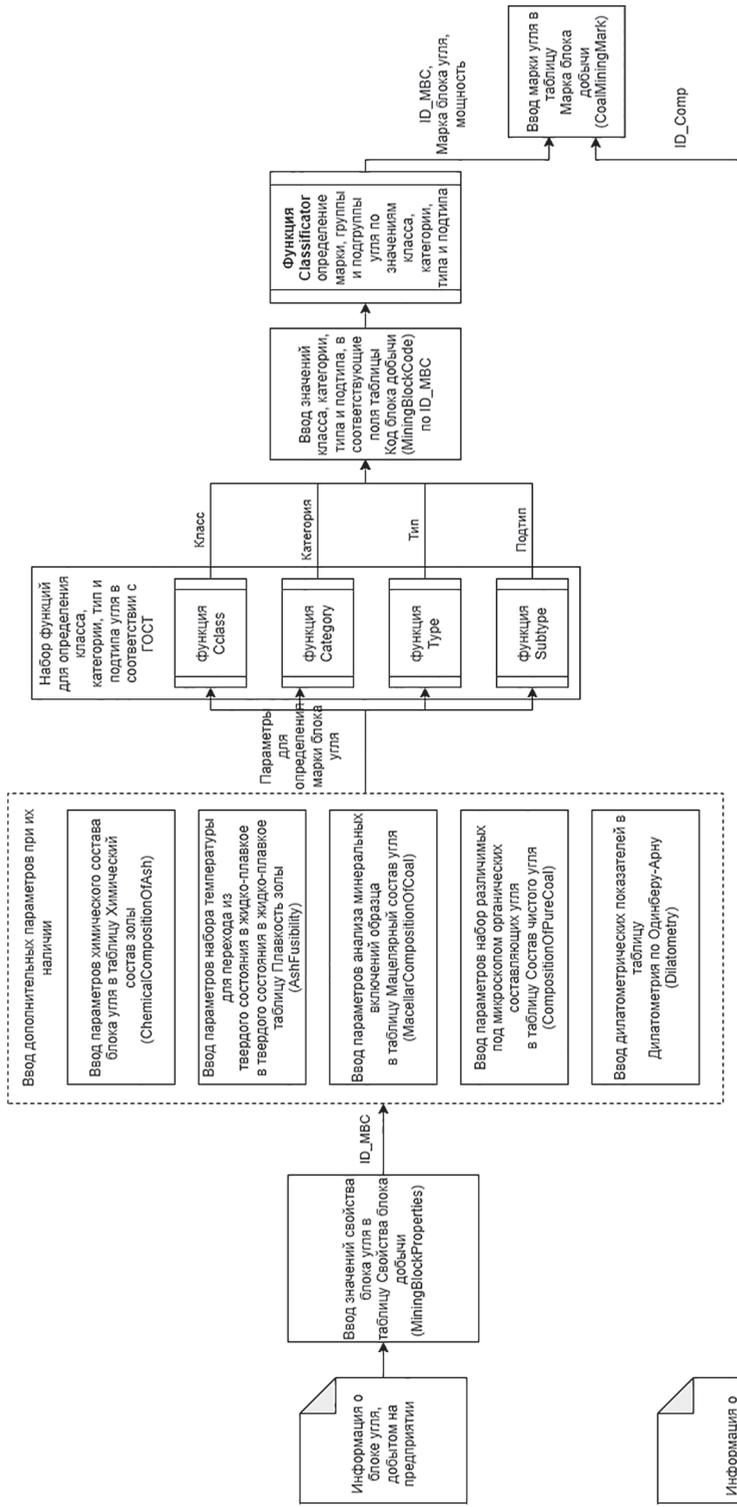


Рис. 4. Схема классификации ископаемых углей  
 Fig. 4. Coal classification chart

Таблица 3

**Параметры классификации ископаемых углей**  
**Coal classification parameters**

Наименование параметра	Единица измерения	Обозначение
Произвольный показатель отражения витринита	%	$R_{o,r}$
Высшая теплота сгорания на влажное беззольное состояние при постоянном объеме	МДж/кг	$Q_{s,v}^{af}$
Выход летучих веществ на сухое беззольное состояние	%	$V^{daf}$
Содержание фюзенизированных компонентов на чистый уголь	%	$\Sigma OK$
Максимальная влагоемкость на беззольное состояние	%	$W_{max}^{af}$
Объемный выход летучих веществ на сухое беззольное состояние	см <sup>3</sup> /г	$V_v^{daf}$
Выход смолы полукоксования на сухое беззольное состояние	%	$T_{sk}^{daf}$
Толщина пластического слоя	мм	$y$
Показатель анизотропии отражения витринита	%	$A_R$
Показатель свободного вспучивания*	ед.	$SI$

\* Этот параметр в разных странах обозначается символами FSI и (или) CSN.

приведенные в табл. 3. В ходе построения модели базы данных было выделено 49 классов, 8 категорий, 25 типов и 30 подтипов.

Марку угля, группу, подгруппу устанавливают для каждого блока добычи. Пластовые пробы отбирают в каждом забое неокисленной зоны пласта, определяют по каждой пробе характерные общие признаки (атрибуты) и по результатам анализа определяют кодовый номер, согласно пороговым значениям по каждому из параметров.

ER-модель базы данных представлена на рис. 3.

Основной структурой данных в модели является сущность «Свойства блока добычи», которая содержит информацию о характерных общих признаках для каждого угля. Для оптимизации структуры данных из общего перечня признаков блока угля в отдельные сущности были выделены такие группы признаков, как «Химический состав золы», «Дилятметрия по Одиберу–Арну», «Плавокость золы», «Мацеральный состав угля» и «Состав чистого угля». Спроектиро-

ванная база данных находится в ЗНФ, так как каждый неключевой атрибут нетранзитивно зависит от первичного ключа.

Структура данных «Код блока добычи» содержит класс, категорию, тип и подтип, характеризующие отдельный блок добычи на основе характеристик, определенных в сущности «Свойства блока добычи». Данные параметры определяются автоматически на основе пороговых значений, хранящихся в справочных таблицах, путем срабатывания триггера после добавления новой записи в сущности «Свойства блока добычи».

Структура данных «Марка блока добычи» содержит марку отдельного блока добычи, которая определяется исходя из его технологических свойств.

Схема классификации марок углей представлена на рис. 4.

В соответствии с проведенными исследованиями и полученными результатами обоснованы и разработаны варианты классификации углей по видам, классам, категориям, типам, подтипам и кодовым номерам, а также технологи-

ческим маркам, группам и подгруппам на основе номенклатуры показателей качества, установленной государственным стандартом для идентификации углей и угольной продукции, представленного графом классификатором.

Разработана ER-модель базы данных, визуализированная в виде стандартной графической нотации диаграммы «сущность–связь», в которой выделены ключевые сущности и обозначены связи, которые могут устанавливаться между этими сущностями.

Выполнено преобразование ER-модели в логическую схему базы данных (набор схем-отношений) на основе реляционной модели данных с указанием первичных ключей и связей между отношениями, представляющими собой внешние ключи.

Использование базы данных углей позволит анализировать состав и свойства каждого блока добычи угля различных предприятий, формировать на основе этих данных смеси с заданными характеристиками на базе единой информационно-аналитической платформы.

### **Выводы, дискуссии и дальнейшие направления исследований**

Угольная отрасль сегодня сталкивается с рядом вызовов, подготовка ответов на которые требует трансформации цепочек создания стоимости для повышения эффективности и устойчивости самой отрасли и связанных с ней производств. С позиций регуляторов, лиц, принимающих решения, а также участников отрасли, все изменения в ЦСС отрасли можно разделять на разные траектории — в зависимости от горизонта реализации изменений, объема требуемых ресурсов, необходимости реализации коллективных действий игроков отрасли и связанных отраслей. Так, например, к долгосрочным ресурсоемким изменениям следует отнести диверси-

фикацию производства и дифференциацию продукции. Это в наибольшей степени возможно в звеньях ЦСС, которые являются смежными для угольной отрасли и логистики. Для этого есть технологические возможности у производителей и сформирован потенциальный спрос.

В настоящей статье авторы обратили внимание на такую траекторию изменений в ЦСС угольной отрасли, которую можно отнести к категории «быстрых побед» (то есть изменений, не требующих длинного горизонта и существенных затрат). Это внедрение в угольную отрасль перспективных цифровых технологий, которое обеспечит повышение эффективности и устойчивости угольных ЦСС, будет способствовать и облегчать реализацию долгосрочных капиталоемких изменений в цепочках отрасли. Приведенный в тексте кейс показывает пример того, как могут быть использованы цифровые технологии.

По результатам настоящего исследования следует сформулировать рекомендации для лиц, принимающих решения в отношении государственной промышленной политики, а также для руководителей угольных предприятия.

С позиций следствий для промышленной политики исследование авторов статьи демонстрирует необходимость определения средне- и долгосрочных приоритетов для повышения конкурентоспособности отраслей на примере политики, направленной на наращивание эффективности и устойчивости цепочек создания стоимости. Наши результаты демонстрируют дальнейшую необходимость в синхронизации и выработке совместных действий со стороны промышленной политики и политики в области цифровизации для обеспечения позитивных изменений в отраслях и повышения устойчивости цепочек создания стоимости.

С позиций следствий для руководителей предприятий в угольной отрасли авторы продемонстрировали эффект от цифровизации отрасли на примере одного кейса. Разработанная база данных может быть использована для обеспече-

ния информационно-аналитической поддержки управленческих решений, принимаемых при эксплуатации угольных месторождений, а также позволяет проводить содержательный поиск и обработку данных по углю.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gereffi G., Humphrey J., Sturgeon T. J. The governance of global value chains // *Review of International Political Economy*. 2005, vol. 12, no. 1, pp. 78–104.
2. Кондратьев В. Б. Глобальные цепочки стоимости в отраслях экономики: общее и особенное // *Мировая экономика и международные отношения*. — 2019. — Т. 63. — № 1. — С. 49–58.
3. 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.
4. Harrison T., Lee H., Neale J. *The practice of supply chain management: where theory and application converge*. Springer US. 2003, 357 p.
5. Kaplinsky R. Spreading the gains from globalization: what can be learned from value-chain analysis? // *Problems of Economic Transition*. 2004, vol. 47, no. 2, pp. 74–115.
6. Park A., Nayyar G., Low P. *Supply chain perspectives and issues — a literature review*. Geneva and Hong Kong: Fung Global Institute and World Trade Organization. 2013, 232 p.
7. Sturgeon T. J. How do we define value chains and production networks? // *IDS Bulletin*. 2001, vol. 32, no. 3, pp. 9–18.
8. Bamber P., Stark K. F. *Innovation and competitiveness in the copper mining global value chain / IDB. Discussion Paper No. IDB-DP-855*. 2021, 93 p.
9. Zhang L., Fu S., Tian J., Peng J. A review of energy industry chain and energy supply chain // *Energies*. 2022, vol. 15, no. 23, article 9246. DOI: 10.3390/en15239246.
10. Никитенко С. М., Гоосен Е. В., Кавкаева О. Моделирование гибких цепочек добавленной стоимости на основе «чистых» технологической переработки угля // *Горная промышленность*. — 2023. — № S2. — С. 126–134. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S2-126-134.
11. 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.
12. Gereff G., Lee J. Why the world suddenly cares about global supply chains // *Journal of Supply Chain Management*. 2012, vol. 48, no. 3, pp. 24–32.
13. Frederick S. Combining the global value chain and global I-O approaches. Discussion paper / International Conference on the Measurement of International Trade and Economic Globalization, Aguascalientes, 2014; *The Age of Global Value Chains 2016*. DOI: 10.13140/RG.2.2.36224.23040.
14. Humphrey J. Upgrading in global value chains // *ILO Working Papers 993698523402676*, International Labour Organization. 2004. DOI: 10.2139/ssrn.908214.
15. Pirotbelli C., Marin A., Olivari J. Innovation in mining value chains: New evidence from Latin America // *Resources Policy*. 2018, vol. 58, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.05.010.
16. Pirotbelli C., Calzada O., Iizuka M., Torres C. Suppliers' entry, upgrading, and innovation in mining GVCs: lessons from Argentina, Brazil, and Peru // *Industrial and Corporate Change*. 2023. DOI: 10.1093/icc/dtad079/7471252.
17. Daly Alica, Humphreys David, Raffo Julio, Valacchi Giulia (eds). *Global Challenges for Innovation in Mining Industries*. 2022. DOI: 10.1017/9781108904209.
18. Valacchi Giulia, Raffo Julio, Daly Alica, Humphreys David *Mining innovation and economic cycles: how commodity prices affect mining related patenting?* // *Mineral Economics*. 2023, vol. 36, pp. 1–25. DOI: 10.1007/s13563-022-00359-7.

19. Fusillo F., Nenci S., Pietrobelli C., Quattraro F. Co-evolutionary patterns of GVC-trade and knowledge flows in the mining industry: Evidence from Latin America // *Industrial and Corporate Change*. 2023. DOI: 10.1093/icc/dtae002.
20. Pavitt K. Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory // *Research Policy*. 1984, vol. 13, pp. 343–373.
21. Pietrobelli C., Olivari J. Special issue on mining value chains, innovation and learning // *Resources Policy*. 2018, vol. 58, pp. 1–314.
22. Floris L. M., Calegario C. L., Ávila E., Caetano R. M. Determinant factors of insertion in global value chains: An analysis of the mining industry participation // *International Business*. 2020, vol. 15, no. 3, pp. 80–102.
23. Izuka M., Pietrobelli C., Vargas F. Innovation in mining global value chains: Implications for emerging economies / *Global Challenges for Innovation in Mining Industries*. 2022, pp. 88–116. DOI: 10.1017/9781108904209.005.
24. Calzada Olvera B. Innovation in mining: what are the challenges and opportunities along the value chain for Latin American suppliers? // *Mineral Economics*. 2022, vol. 35, pp 35–51. DOI: 10.1007/s13563-021-00251-w.
25. Daly Alica, Valacchi Giulia, Raffo Julio Recent trends of innovation in the mining sector // *Global Challenges for Innovation in Mining Industries*. 2022, pp. 25–51. DOI: 10.1017/9781108904209.003.
26. Rehnberg M., Ponte S. From smiling to smirking? 3D printing, upgrading and the restructuring of global value chains // *Global Networks*. 2018, vol. 18, no. 1, pp 57–80.
27. Clausen E., Sørensen A. Required and desired: breakthroughs for future-proofing mineral and metal extraction // *Mineral Economics*. 2022, vol. 35, pp. 521–537. DOI: 10.1007/s13563-022-00328-0.
28. Barnewold L., Lottermoser B. G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, no. 6, pp. 747–757. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.003.
29. Никитенко С. М., Патракова Л. П., Гоосен Е. В. Реализация совместных инновационных проектов бизнеса и местной власти как фактор устойчивого экономического развития муниципального образования // *Региональная экономика: теория и практика*. — 2009. — № 24. — С. 17–26.
30. Никитенко С. М. Об особенностях управления инновациями в муниципальных образованиях // *Фундаментальные исследования*. — 2008. — № 12. — С. 33–36.
31. Павлова Л. Д., Корнева А. В., Худоногов Д. Ю., Патраков Ю. Ф., Никитенко С. М. Концептуальное проектирование базы данных углей на основе общих генетических признаков // *Горная промышленность*. — 2023. — № 52. — С. 108–113. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-52-108-113. **PLAS**

## REFERENCES

1. Gereffi G., Humphrey J., Sturgeon T. J. The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*. 2005, vol. 12, no. 1, pp. 78–104.
2. Kondratyev V. B. Global value chains in economic sectors: general and special. *World economy and international relations*. 2019, vol. 63, no. 1, pp. 49–58. [In Russ].
3. Goosen E. V., Nikitenko S. M., Kagan E. S., Rada A. O., Nikitina O. I. Transformation of production chains in the coal industry: organizational and technological aspects. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022, no. 7(4), pp. 330–342. [In Russ]. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-09-15.
4. Harrison T., Lee H., Neale J. *The practice of supply chain management: where theory and application converge*. Springer US. 2003, 357 p.
5. Kaplinsky R. Spreading the gains from globalization: what can be learned from value-chain analysis? *Problems of Economic Transition*. 2004, vol. 47, no. 2, pp. 74–115.
6. Park A., Nayyar G., Low P. *Supply chain perspectives and issues — a literature review*. Geneva and Hong Kong: Fung Global Institute and World Trade Organization. 2013, 232 p.
7. Sturgeon T. J. How do we define value chains and production networks? *IDS Bulletin*. 2001, vol. 32, no. 3, pp. 9–18.
8. Bamber P., Stark K. F. Innovation and competitiveness in the copper mining global value chain. *IDB. Discussion Paper No. IDB-DP-855*. 2021, 93 p.
9. Zhang L., Fu S., Tian J., Peng J. A review of energy industry chain and energy supply chain. *Energies*. 2022, vol. 15, no. 23, article 9246. DOI: 10.3390/en15239246.

10. Nikitenko S. M., Goosen E. V., Kavkaeva O. Modeling of flexible value chains based on «clean» coal processing technologies. *Russian Mining Industry*. 2023, no. S2, pp. 126–134. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S2-126-134.
11. 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, no. 3, pp. 163–179. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_3\_0\_163.
12. Gereff G., Lee J. Why the world suddenly cares about global supply chains. *Journal of Supply Chain Management*. 2012, vol. 48, no. 3, pp. 24–32.
13. Frederick S. Combining the global value chain and global I-O approaches. Discussion paper. *International Conference on the Measurement of International Trade and Economic Globalization, Aguascalientes*, 2014; *The Age of Global Value Chains* 2016. DOI: 10.13140/RG.2.2.36224.23040.
14. Humphrey J. Upgrading in global value chains. *ILO Working Papers 993698523402676*, International Labour Organization. 2004. DOI: 10.2139/ssrn.908214.
15. Pietrobelli C., Marin A., Olivari J. Innovation in mining value chains: New evidence from Latin America. *Resources Policy*. 2018, vol. 58, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.resourpol.2018.05.010.
16. Pietrobelli C., Calzada O., Iizuka M., Torres C. Suppliers' entry, upgrading, and innovation in mining GVCs: lessons from Argentina, Brazil, and Peru. *Industrial and Corporate Change*. 2023. DOI: 10.1093/icc/dtad079/7471252.
17. Daly Alica, Humphreys David, Raffo Julio, Valacchi Giulia (eds). *Global Challenges for Innovation in Mining Industries*. 2022. DOI: 10.1017/9781108904209.
18. Valacchi Giulia, Raffo Julio, Daly Alica, Humphreys David Mining innovation and economic cycles: how commodity prices affect mining related patenting? *Mineral Economics*. 2023, vol. 36, pp. 1–25. DOI: 10.1007/s13563-022-00359-7.
19. Fusillo F., Nenci S., Pietrobelli C., Quatraro F. Co-evolutionary patterns of GVC-trade and knowledge flows in the mining industry: Evidence from Latin America. *Industrial and Corporate Change*. 2023. DOI: 10.1093/icc/dtae002.
20. Pavitt K. Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*. 1984, vol. 13, pp. 343–373.
21. Pietrobelli C., Olivari J. Special issue on mining value chains, innovation and learning. *Resources Policy*. 2018, vol. 58, pp. 1–314.
22. Floris L. M., Calegario C. L., Ávila E., Caetano R. M. Determinant factors of insertion in global value chains: An analysis of the mining industry participation. *International Business*. 2020, vol. 15, no. 3, pp. 80–102.
23. Iizuka M., Pietrobelli C., Vargas F. Innovation in mining global value chains: Implications for emerging economies. *Global Challenges for Innovation in Mining Industries*. 2022, pp. 88–116. DOI: 10.1017/9781108904209.005.
24. Calzada Olvera B. Innovation in mining: what are the challenges and opportunities along the value chain for Latin American suppliers? *Mineral Economics*. 2022, vol. 35, pp 35–51. DOI: 10.1007/s13563-021-00251-w.
25. Daly Alica, Valacchi Giulia, Raffo Julio Recent trends of innovation in the mining sector. *Global Challenges for Innovation in Mining Industries*. 2022, pp. 25–51. DOI: 10.1017/9781108904209.003.
26. Rehnberg M., Ponte S. From smiling to smirking? 3D printing, upgrading and the restructuring of global value chains. *Global Networks*. 2018, vol. 18, no. 1, pp 57–80.
27. Clausen E., Sörensen A. Required and desired: breakthroughs for future-proofing mineral and metal extraction. *Mineral Economics*. 2022, vol. 35, pp. 521–537. DOI: 10.1007/s13563-022-00328-0.
28. Barnewold L., Lottermoser B. G. Identification of digital technologies and digitalisation trends in the mining industry. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020, vol. 30, no. 6, pp. 747–757. DOI: 10.1016/j.ijmst.2020.07.003.
29. Nikitenko S. M., Patrakova L. P., Goosen E. V. Implementation of joint innovative projects of business and local authorities as a factor in the sustainable economic development of the municipality. *Regional economics: theory and practice*. 2009, no. 24, pp. 17–26. [In Russ].
30. Nikitenko S. M. On the features of innovation management in municipalities. *The Fundamental researches*. 2008, no. 12, pp. 33–36. [In Russ].
31. Pavlova L. D., Korneva A. V., Khudonogov D. Yu., Patrakov Y. F., Nikitenko S. M. Conceptual design of a coal database based on common genetic features. *Russian Mining Industry*. 2023, no. S2, pp. 108–113. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S2-108-113.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Никитенко Сергей Михайлович*<sup>1</sup> — д-р экон. наук,  
доцент, главный научный сотрудник,  
e-mail: nsm.nis@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0001-6684-4159,

*Павлова Лариса Дмитриевна*<sup>2</sup> — д-р техн. наук,  
профессор, зав. кафедрой,  
e-mail: ld\_pavlova@mail.ru,

*Корнева Анна Валерьевна*<sup>2</sup> — канд. техн. наук,  
доцент, e-mail: annette\_sol@list.ru,

*Гоосен Елена Владимировна*<sup>1</sup> — канд. экон. наук,  
доцент, ведущий научный сотрудник,  
e-mail: egoosen@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-1387-4802,

*Федюнина Анна Андреевна* — канд. экон. наук,  
заместитель директора Центра исследований  
структурной политики,

Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики», e-mail: afedyunina@hse.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-2405-8106,

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр  
угля и углехимии Сибирского отделения РАН,

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет.

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

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*S.M. Nikitenko*<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Econ.), Assistant Professor,  
Chief Researcher, e-mail: nsm.nis@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-6684-4159,

*L.D. Pavlova*<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,  
Head of Chair, e-mail: ld\_pavlova@mail.ru,

*A.V. Korneva*<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Eng.),  
Assistant Professor, e-mail: annette\_sol@list.ru,

*E.V. Goosen*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Econ.),  
Assistant Professor, Leading Researcher,  
e-mail: egoosen@yandex.ru,

ORCID ID: 0000-0002-1387-4802,

*A.A. Fedyunina*, Cand. Sci. (Econ.), Vice-director  
for the Centre of Industrial Policy Studies,  
HSE University, Moscow, Russia,  
e-mail: afedyunina@hse.ru,

ORCID ID: 0000-0002-2405-8106,

<sup>1</sup> The Federal Research Centre of Coal and Coal Chemistry  
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
650065, Kemerovo, Russia,

<sup>2</sup> Siberian State Industrial University,  
654007, Novokuznetsk, Russia.

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

Получена редакцией 27.02.2024; получена после рецензии 30.03.2024; принята к печати 10.07.2024.

Received by the editors 27.02.2024; received after the review 30.03.2024; accepted for printing 10.07.2024.