

Обзорная статья

УДК 336.018(045)

DOI: 10.47475/1994-2796-2025-501-7-150-157

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ: ВЕКТОР ДВИЖЕНИЯ

Елена Ивановна Козлова^{1✉}, Елена Владимировна Богомолова²

¹ Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия, kozlova.e.i@kzlvls.com, ORCID: 0000-0001-5116-6543

² Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия, ev_bogom@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3514-12

Аннотация. Обзор зарубежных литературных источников по применению цифровых технологий в металлургических производствах показал, что внедрение цифровых проектов в сталелитейной промышленности позволяет продвинуться существенно дальше в планировании и контроле качества продукции, сокращении производственных затрат, скорости обслуживания, чем это возможно в традиционных рамках автоматизации промышленного производства. Целью данного исследования является оценка текущего состояния сталелитейной промышленности Российской Федерации и отечественного опыта по реализации в металлургических компаниях цифровых решений. Методология исследования базируется на системном, сравнительном и статистических методах анализа. В рамках работы подробно рассмотрены примеры реализованных цифровых технологий в ПАО «НЛМК» с разбивкой по переделам технологического процесса создания ценности. Результаты анализа показывают, что в условиях растущей конкуренции со стороны других регионов-производителей стали, российские производители стали также осознают необходимость цифровой трансформации. Исследование вносит вклад в обоснование развития цифровизации металлургического производства как широкого инструмента совершенствования цепочки создания ценности.

Ключевые слова: цифровизация, цифровые технологии, сталелитейная промышленность, процесс создания ценности

Для цитирования: Козлова Е. И., Богомолова Е. В. Цифровая трансформация в производстве стали: вектор движения // Вестник Челябинского государственного университета. 2025. № 7 (501). С. 150–157. DOI: 10.47475/1994-2796-2025-501-7-150-157

Review article

DIGITAL TRANSFORMATION IN STEEL PRODUCTION: VECTOR OF MOVEMENT

Elena I. Kozlova^{1✉}, Elena V. Bogomolova²

¹ Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia, kozlova.e.i@kzlvls.com, ORCID: 0000-0001-5116-6543

² Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia, ev_bogom@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3514-12

Abstract. A review of foreign literary sources on the use of digital technologies in metallurgical production showed that the implementation of digital projects in the steel industry allows for significantly further advances in product quality planning and control, reduction of production costs, and speed of service than is possible within the traditional framework of industrial production automation. The purpose of this study is to assess the current state of the steel industry of the Russian Federation and domestic experience in implementing digital solutions in metallurgical companies. The research methodology is based on system, comparative and statistical methods of analysis. The work includes a detailed examination of examples of implemented digital technologies at NLMK PJSC, broken down by stages of the technological process of value creation. The results of the analysis show that, in the face of growing competition from other steel-producing regions, Russian steel producers also recognize the need for digital transformation. The study contributes to the justification of the development of digitalization of metallurgical production as a broad tool for improving the value chain.

Keywords: digitalization, digital technologies, steel industry, value creation process

For citation: Kozlova EI, Bogomolova EV. Digital Transformation in Steel Production: Vector of Movement. *Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2025;(7(501):150-157. (In Russ.). DOI: 10.47475/1994-2796-2025-501-7-150-157

Введение

Сталелитейная промышленность, как и металлургическое производство в целом, характеризуется высоким уровнем рисков, которые являются следствием постоянно меняющихся характеристик используемых материальных и человеческих ресурсов, экологических норм, правовых стандартов, цепочек создания стоимости¹. Для сохранения рыночных позиций производители стали должны предлагать конкурентоспособную продукцию с универсальными свойствами высокого качества, оперативно реагировать на запросы потребителей по размерам партий, срокам поставок и др. Традиционные методы улучшения операционной деятельности имеют пределы, которые не позволяют использовать краткосрочные возможности, что приводит к значительным потерям стоимости.

Инструментом эффективного улучшения сетевого взаимодействия людей и машин в динамических металлургических производственных процессах в настоящее время являются цифровые технологии. М. Райффершайд (руководитель отдела исследований и разработок SMS group) отмечает, что внедрение аналитики данных «расширяет такие функциональные возможности, как самооптимизация, самонастройка, самодиагностика, распознавание образов», «позволяет обрабатывать соответствующую информацию индивидуализированным образом и в режиме реального времени и предоставлять ее людям и машинам в любом месте и в любое время...». Поскольку разработка «виртуальных технологий» осуществляется с 2000-х г., то по мере их продвижения будет меняться и акцент в их использовании — распространение цифровых технологий не только на технологические аспекты, но и на существующие процессы и бизнес-модели, что позволит создавать новую ценность [14. С. 48–50].

В странах ЕС активизация процессов цифровизации в сталелитейном секторе, подчеркивают Т. А. Бранка и соавторы, получила сильное ускорение благодаря Индустрии 4.0. В подготовленном авторами в рамках проекта Blueprint European обзорном исследовании выделяются следующие основные направления применения цифровых техно-

логий в сталелитейной промышленности: оптимизация производственной цепочки; технология низкоуглеродного производства; устойчивое производство. Авторы отмечают, что цифровизация выходит за рамки обычной автоматизации промышленного производства, так как строится на интеллектуальном сочетании различных инструментов — заводские и лабораторные эксперименты, физическое моделирование и вычислительное моделирование, постоянная корректировка и оптимизации процессов в режиме онлайн и др. [11. С. 2–4].

Инновационные технологии (машинное обучение, обработка изображений и обработка естественного языка для сокращения потребления энергии и др.) исторически активно использует U. S. Steel. С. Бугайский, директор по информационным технологиям U. S. Steel, выделяет 4 направления цифровых технологий, которые используются для повышения эффективности операций: автоматизация; интеллектуальное производство; мобильность; расширенная аналитика. Одной из исходных цифровых инициатив в компании является создание большого «озера» данных. Например, реализуемое приложение MineMind™ на основе искусственного интеллекта направлено на упрощение обслуживания оборудования путем «предоставления оптимальных решений для механических проблем, экономии времени и денег...». Предполагается, что передовая технология генеративного интеллекта позволит трансформировать не только производства, но и смежные отрасли².

Чтобы добиться результатов от цифровой трансформации в сталелитейной промышленности, называемой Metals 4.0., необходимо, считает Т. Барнс, хорошо понимать, каким образом использование новых технологий позволит получить конкурентное преимущество. По результатам исследований «Technology in Metals 2022» аналитик выделяет четыре способа, которыми цифровая трансформация революционизирует сталелитейную, промышленность³:

² Barnes T. 4 ways digital transformation is revolutionizing the steel industry // Crowe Technology in Metals. 11.29.2022. URL: <https://www.crowe.com/insights/metals-trends/4-ways-digital-transformation-is-revolutionizing-the-steel-industry> (дата обращения: 15.11.2024).

³ Barnes T. 4 ways digital transformation is revolutionizing the steel industry // Crowe Technology in Metals. 11.29.2022. URL: <https://www.crowe.com/insights/metals-trends/4-ways-digital-transformation-is-revolutionizing-the-steel-industry> (дата обращения: 15.11.2024).

¹ U. S. Steel Aims to Improve Operational Efficiencies and Employee Experiences with Google Cloud's Generative AI. U. S. Steel. August 10, 2023. URL: https://d1io3yog0oux5.cloudfront.net/_07ddb1c475d93330c8f2456c97c8674b/ussteel/news/2023-08-10_U_S_Steel_Aims_to_Improve_Operational_639.pdf (дата обращения: 15.11.2024).

– улучшение качества обслуживания клиентов посредством бизнес-аналитики и предиктивной аналитики;

– снижение затрат за счет облачных ERP-решений с единым решением, что позволяет отслеживать эффективность производства и избегать неожиданных и дорогостоящих простоев оборудования;

– новые источники дохода на основе опережения конкурентов с помощью новых технологий;

– повышение гибкости с помощью ERP-решений.

Таким образом, внедрение цифровых технологий в металлургических производствах позволяет продвинуться существенно дальше в планировании и контроле качества продукции, сокращении производственных затрат, скорости обслуживания, чем это возможно в традиционных рамках автоматизации промышленного производства. Начатые многими компаниями инициативы по содействию цифровизации в США, Китае, странах ЕС формируют будущее сталелитейного производства [13].

Основная цель данного исследования — проанализировать особенности развития черной металлургии РФ в 2018–2023 гг., в том числе, динамику ключевых показателей пяти крупнейших российских компаний-производителей стали, рассмотреть практику реализации цифровых решений в сталелитейной промышленности на примере ПАО НЛМК.

Материалы и методы исследования

Информационной базой для исследования совокупности внедряемых и предполагаемых к внедрению проектов цифровизации и их воздействия на операционную эффективность предприятий, производящих сталь, послужили публикации в зарубежных и отечественных рецензируемых научных журналах, содержащие оригинальные обзоры по цифровой трансформации в сталелитейной промышленности (Metals 4.0); отчеты Worldsteel association за 2018–2023 гг.; материалы диалоговой площадки «Форум SMART-LAB»; материалы ТГ-канала НЛМК; совокупность материальных, информационных и операционных потоков ПАО «НЛМК», подвергающихся трансформации в ходе внедрения цифровых технологий.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно данным Всемирной ассоциации производителей стали (Worldsteel) мировое производство нерафинированной стали выросло за последнее десятилетие (2012–2022 гг.) на 20,6 % (с 1663 до 1885 млн тонн)¹. При общем положительном

тренде в 2015 г. и в 2022 г. мировые объемы выпуска стали сокращались. Все страны из списка TOP-5 в 2022 г., кроме Индии, сократили объемы производства сырой стали: Китай, занимающий 1-ю строчку сократил выпуск на 1,7 % (но его доля в мировом производстве сырой нефти выросла с 52,7 % в 2021 г. до 54 % в 2022 г.); Япония (3-е место) — на 7,4%; США (4-е место) — на 6,2 %; Россия (5-е место) — на 7,1 %.

Доля России и других стран СНГ (+Украина) в мировом производстве сырой стали в 2012 г. составила 7,1 %, в 2022 г. — 4,6 %; в видимом использовании стали — 4,1 % и 3,0 %, соответственно. По объему экспорта стали в 2022 г., который составил 17,9 млн тонн, Россия заняла 6 место после Китая (68,1), Японии (31,7), Южной Кореи (25,5), Германии (22,3) и Турции (18). Так как объемы импорта стали были незначительными, то Россия заняла 3-е место среди стран — мировых чистых экспортеров стали (16,6 млн тонн) после Китая (51,1) и Японии (26,4). Стальной лист составляет четверть вывоза, около половины продаж составляют слитки и полуфабрикаты [8. С. 180].

Сталелитейная промышленность России представлена компаниями с полным циклом производства и передельными предприятиями². Наибольший объем производства и отгрузок имеют ПАО «Северсталь», ПК «ЕВРАЗ», ПАО «НЛМК», ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК), ОАО «Челябинский металлургический комбинат» («Мечел»), АО «ХК «Металлоинвест» [3. С. 106]. Из этих шести российских компаний четыре представлены в TOP-50 мировых производителей стали с тоннажем более 3 миллионов тонн (Мт) в год (табл. 1). Новолипецкий металлургический комбинат (НЛМК), Северсталь, Евраз и Магнитогорский металлургический комбинат (ММК) — это ведущие сталелитейные заводы России [12. С. 409].

В условиях растущей конкуренции со стороны других регионов-производителей стали, российские производители стали также осознают необходимость цифровой трансформации [10. С. 106]. Так, в исследовании И. С. Прохоровой и соавторов отмечается, что металлургические компании (Магнитогорский, Новолипецкий металлургические комбинаты, «Норильский никель», «РУСАЛ», «Северсталь», ПАО «Уральская сталь» и др.), наряду с ресурсодобывающими компаниями

¹ World Steel in Figures 2023 // Worldsteel association. URL: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2023/> (дата обращения: 15.11.2024).

² Чёрная металлургия России — 2023: география и предприятия // Промышленные страницы. 21 сентября 2023 г. URL: <https://indpages.ru/prom/chyornaya-myetalurgeeya-rosseee-2023/> (дата обращения: 15.11.2024).

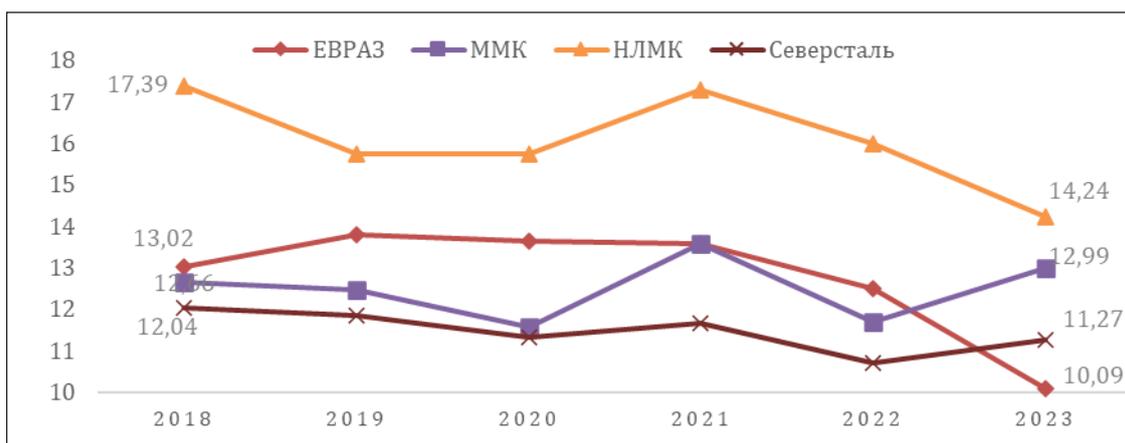


Рис. 1. Динамика объемов производства сырой стали российскими компаниями, входящими в TOP-50 мировых производителей стали, 2018–2023 гг. (млн тонн)

Fig. 1. Dynamics of crude steel production volumes by Russian companies included in the TOP-50 global steel producers, 2018–2023 (million tons)

Источник: составлено авторами по данным Worldsteel.

являются ключевыми покупателями индустриального программного обеспечения [5. С. 66].

Таблица 1
Table 1

Рейтинг крупнейших российских компаний-производителей стали в мировом TOP-50, 2018–2023 гг., порядковый показатель по тоннажу в млн тонн
Rating of the largest Russian steel producing companies in the world TOP-50, 2018–2023, ordinal indicator for tonnage in million tons

Компания	Год					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Евраз	30	28	30	34	34	44
ММК	31	32	37	32	37	32
НЛМК	17	21	22	22	24	28
Северсталь	34	37	40	39	41	38

Источник: составлено авторами по данным Worldsteel¹.

Отметим, что данные Worldsteel за текущий период нередко имеют корректировку по предыдущему году, но она находится в пределах сдвига не более, чем на 1 строчку рейтинга. Лучшие рейтинги российские производители стали получили в 2018 г. — от 17 до 31, в последующие годы показатели рейтингов у них стали снижаться, по итогам 2023 г. они расположились в диапазоне 28–44.

Среди российских компаний, как видно из рисунка 1, самые высокие объемы производства сырой стали имеет ПАО «НЛМК». В 2023 г. объемы

выпуска ПАО «НЛМК» сократились на 11 %. Более, чем на 19 % снизил объемы выпуска в 2023 г. также ПК «ЕВРАЗ». ММК и Северсталь, напротив, показали увеличение объемов производства сырой стали: 11,1 % и 5,4 %, соответственно.

Достижение положительных изменений в развитии металлургии, связанные с реализацией ESG-параметр, обосновывают О. А. Романова и Д. В. Сиротин [6]. А. А. Попова, Е. П. Аксенова обращают внимание, что потенциал цифровизации в металлургической отрасли обусловлен такими ее особенностями как «вертикальная интеграция на основе систем киберфизического производства..., 100%-ная прослеживаемость промежуточных и конечных продуктов ...» [4. С. 238].

Н. В. Скворцова, М. В. Кузнецова, отмечая, что по результатам опроса финансовых директоров ведущих компаний России, металлургическая отрасль уже в 2019 г. активно включилась в процесс цифровой трансформации, обобщенно выделяют три направления и области цифровой трансформации промышленных предприятий: цифровая стратегия и бизнес; цифровая операционная модель, процессы, структура и культура; технологическая инфраструктура и процессы цифрового производства [15. С. 1508–1510].

Для доменных производств большие возможности повышения эффективности имеют, по мнению Н. А. Спирина и соавторов, цифровые двойники пирометаллургических технологий, широкое применение машинного зрения и искусственного интеллекта для управления технологическим процессом агрегатов и их комплексов в режиме реального времени. Вместе с тем, считают исследователи на

¹ Top steel-producing companies URL: 2023/2022 <https://worldsteel.org/data/top-producers/>; Top steel-producing companies 2023/2022. URL: <https://worldsteel.org/data/top-producers/> (дата обращения: 15.11.2024).

практике «между потенциальными возможностями средств автоматизации и реальными возможностями используемого программного обеспечения» существует огромный разрыв [7. С. 594].

Аналитика больших данных и другие цифровые решения позволяют компаниям оптимизировать свою деятельность для повышения производительности и операционной эффективности. При этом, как полагают В. А. Черкасова, Г. А. Слепушенко, степень влияния цифровизации на операционную эффективность компаний, зависит от вида «индустрии, возраста и размера предприятия» [9. С. 128].

В качестве количественной характеристики операционной эффективности для сталелитейных компаний, на наш взгляд, может быть использован показатель рентабельности активов, рассчитанный по операционной прибыли [1. С. 36]. В таблице 2 представлены результаты выполненных авторами расчетов показателей операционной эффективности для каждой из четырех российских компаний-производителей стали, входящих в мировой TOP-50.

Таблица 2

Table 2

Операционная эффективность крупнейших российских компаний — производителей стали, 2019–2023 гг., %

Operating efficiency of the largest Russian steel producing companies, 2019–2023, %

Компания	Год				
	2019	2020	2021	2022	2023
НЛМК	19,98	20,64	50,41	21,23	20,28
Северсталь	29,6	25,7	61,5	23,95	22,1
ММК	16,1	12,3	38,8	14,9	16,21
ЕВРАЗ	12,9	18,7	44,4	-	-

Источник: составлено авторами по данным Форум SMART-LAB¹.

В 2019–2023 гг. показатели операционной эффективности крупнейших российских производителей стали не имели стабильности, их динамика была разнонаправленной. Наиболее удачным для всех компаний стал 2021 год, в котором показатели операционной эффективности составили 61,5 % у Северстали; 50,41 % у НЛМК; 44,4 % у ЕВРАЗ и 38,8 % у ММК.

НЛМК — компания, непрерывно работающая над модернизацией собственного производства. В 2020–2023 гг. объем инвестиционной программы в компании оценивается в 3,5 млрд долларов США².

¹ Форум SMART-LAB. URL: <https://smart-lab.ru/q/MAGN/MSFO/goa/> (дата обращения: 15.11.2024).

² ТГ-канал НЛМК. URL: https://t.me/s/nlmc_official (дата обращения: 15.11.2024).

Внедрение цифровых решений выступает составной частью реализации стратегических целей компании. В текущем формате их освоения, по мнению С. Казанцева, вице-президента по цифровизации производства ПАО НЛМК, использование цифровых технологий идет в трех основных направлениях: операционная эффективность, охрана труда, работа с клиентами³. Для достижения поставленных целей используются IoT (коллективная сеть подключенных устройств), AI (технологии искусственного интеллекта), Big data (структурированные и неструктурированные массивы данных большого объема).

На Липецкой площадке ПАО НЛМК, как отмечает С. Казанцев, основные направления инвестиций в цифровые технологии включают средства измерения, средства визуализации данных и средства поддержания технологического порядка. Приведем примеры реализованных цифровых решений в ПАО НЛМК:

1. Аглодоменное производство (АДП):

а) цифровые подсказчики для расчета идеальных пропорций состава шихты агломерата из имеющихся на складе материалов;

б) процедуры искусственного интеллекта — помогают оптимизировать химический состав чугуна для достижения заказанных свойств.

2. Коксохимическое производство (КХП):

а) машинное зрение — позволяет сократить время газования двери коксовой батареи, повысить качество кокса, улучшить экологическую обстановку, увеличить выпуск минеральных удобрений как сопутствующего продукта;

б) цифровые ассистенты на складах КХП — позволяет сформировать оптимальный состав шихты для коксования под необходимые свойства получаемого продукта из имеющихся углей;

в) роботизация дотушивания кокса — способствует сокращению расхода воды;

г) лидары (лазерные дальнометры) на складе КХП — позволяет сделать оценку запасов и качества угля.

3. Кислородно-конверторное производство (ККП):

а) RFID (радиочастотный идентификатор) — позволяет проводить мониторинг движения чугуновозных ковшей, что обеспечивает сокращение теплопотерь при транспортировке;

б) процедуры искусственного интеллекта — позволяют определять объем стальных слябов для

³ Казанцев С. НЛМК: Монополия на «цифру» уходит в прошлое // С. NEWS. 01 августа 2023. 15:576782. URL: https://www.cnews.ru/articles/2023-08-01_serгей_kazantsevnlmc_monopoliya (дата обращения: 15.11.2024).

дальнейшего передела на комбинате и для сторонних потребителей.

4. Производстве горячего проката (ППП):

а) цифровые ассистенты — участвуют в настройке черновой группы клетей стана горячей прокатки;

б) машинное зрение — обеспечивают выравнивание слябов на загрузочном рольганге с учетом темпа прокатки.

5. Производство трансформаторной стали (ПТС):

а) роботизированный комплекс лазерной резки — способствует улучшению геометрических параметров проб для измерения магнитных свойств.

6. Ремонтное производство (РП):

а) цифровые ассистенты — улучшают предиктивное обслуживание оборудования за счет использования аналитических данных для планирования мероприятий по обслуживанию на основе фактических условий работы машины;

б) машинное зрение — позволяет улучшить мониторинг износа сегментов машины непрерывного литья заготовок и наблюдение за рабочим состоянием конвейера уборочной группы стана холодной прокатки.

7. Отделы:

а) система «Календарное планирование и графирование» — повышает качество оперативного анализа информации и своевременности принятия

управленческих решений о выполнении заказов клиентов.

Таким образом, в ПАО НЛМК-Липецк цифровые технологии сегодня являются включенными в большинство переделов технологического процесса создания ценности: машинное зрение (ППП, КХП), цифровые системы (АДП, КХП, ППП), RFID считыватели (КХП, ККП), роботизированные комплексы (КХП, ПТС, РП).

Выводы

Сталелитейные компании работают в условиях необходимости эффективно сочетать технологические особенности металлургического производства, требующие крупных капиталовложений в большое количество взаимосвязанных нестабильных активов, и особенности сбыта готовой продукции, обусловленные цикличностью спроса со стороны потребителей, стандартизованностью марок стали, международным бенчмаркингом цен на стальную продукцию и др. Совокупное влияние использования данных, IoT, AI и аналитики больших данных изменило способность сталелитейной промышленности оптимизировать распределение ресурсов, сокращать затраты и упрощать производственные процессы. Эффективность на этом этапе создания ценности зависит от непрерывности цифровой трансформации [2. С. 131], определяя дальнейший ее уровень и способность компаний производить качество и количество, которые в настоящее время востребованы.

Список источников

1. Богомолова Е. В., Моисеева И. И. Общая эффективность деятельности предпринимательской структуры: оценка и методы обеспечения монография. Липецк: Изд-во Липецкого гос. тех. ун-та, 2023. 177 с.
2. Веретехин А. В. Управление цифровой трансформацией промышленного предприятия в контексте обеспечения конкурентных преимуществ // Вестник Челябинского государственного университета. 2024. № 12(494). С. 127–132. DOI: 10.47475/1994-2796-2024-494-12-127-132.
3. Козлова Е. И., Воронова В. Г. Тенденции развития российских металлургических компаний в условиях усложнения конкурентной среды // Инновационная экономика и право. 2023. № 1(24). С. 104–110. DOI: 10.53015/2782-263X_2023_1_104.
4. Попова А. А., Аксенова Е. А. Цифровизация работы предприятий металлургической отрасли как основа их финансовой результативности // Стратегии бизнеса. 2022. Т. 10, № 9. С. 237–243. DOI: 10.17747/2311-7184-2022-9-237-243.
5. Прохорова И. С., Устинов В. С., Елхов А. В. Цифровая зрелость металлургической отрасли России: драйверы и проблемы роста в новых геополитических условиях. Ч. I. Оценки инновационного потенциала цифровой трансформации // Вестник университета. 2023. № 11. С. 61–69.
6. Романова О. А., Сиротин Д. В. От Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0: проблемы и возможности развития металлургии России // Сталь. 2024. №1. С.46–52.
7. Спирин Н. А., Лавров В. В., Рыболовлев В. Ю., Шнайдер Д. А., Краснобаев А. В., Гурин И. А. Цифровая трансформация пирометаллургических технологий: состояние, научные проблемы и перспективы развития // Известия вузов. Черная металлургия. 2021. Т. 64, № 8. С. 588–598. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-8-588-598>.

8. Терпугов А. Е. Развитие механизма управления рыночными стратегиями российской металлургической отрасли в современных условиях // Вестник университета. 2022. № 10. С. 177–184.
9. Черкасова В. А., Слепушенко Г. А. Влияние цифровизации бизнеса на финансовые показатели российских компаний // Финансы: теория и практика. 2021. № 25(2). С. 128–142. DOI: 10.26794/2587-5671-2021-25-2-128-142.
10. Шитиков О. В. Цифровая трансформация металлургического комплекса России: влияние на финансовые показатели и перспективы развития // Журнал монетарной экономики и менеджмента. 2024. № 9. С. 105–111. DOI: 10.26118/2782-4586.2024.98.33.015.
11. Branca T. A., Fornai B., Colla V., Murri M. M., Streppa E., Schroeder A. J. The Challenge of Digitalization in the Steel Sector // Metals. 2020. № 10 (288). P. 1–23. DOI:10.3390/met10020288.
12. Chusmakaev R. M. Leading Russian companies on the world steel market // RUDN Journal of Economics. 2022. Vol. 30, № 3. P. 402–413. DOI: 10.22363/2313-2329-2022-30-3-402-413.
13. Herzog K., Winter G., Kurka G., Ankermann K., Binder R., Ringhofer M., Maierhofer A., Flick A. The Digitalization of Steel Production // BHM. 2017. Vol. 162. № 11. P. 504–513. DOI: 10.1007/s00501-017-0673-9.
14. Reifferscheid M. Digitalization in the steel industry: Strategies, concepts and solutions by SMS Group // SEAIQ Quarterly (South East Asia Iron and Steel Institute). 2017. № 46 (3). P. 45–50.
15. Skvortsova N. V., Kuznetsova M. V. Digital Transformation As A Driver Of Economic Development For Metallurgical Companies // ISCKMC. 2020. Vol. 107. P. 1507–1514. DOI: 10.15405/epsbs.2021.05.199.

References

1. Bogomolova EV, Moiseeva II. *Obshchaya effektivnost' deyatel'nosti predprinimatel'skoy struktury: otsenka i metody obespecheniya monografiya.* =Overall performance efficiency of an entrepreneurial structure: assessment and methods of ensuring monograph. Lipetsk: Publishing house of Lipetsk State Technical University; 2023. 177 p. (In Russ.).
2. Veretekhin AV. Managing digital transformation of an industrial enterprise in the context of ensuring competitive advantages. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*=Bulletin of Chelyabinsk State University. 2024;12 (494):127–132. DOI: 10.47475/1994-2796-2024-494-12-127-132. (In Russ.).
3. Kozlova EI, Voronova VG. Development trends of Russian metallurgical companies in the context of an increasingly complex competitive environment. *Innovatsionnaya ekonomika i pravo*=Innovative Economics and Law. 2023;1(24):104–110. DOI: 10.53015/2782-263X_2023_1_104. (In Russ.).
4. Popova AA, Aksenova EA. Digitalization of the Work of Enterprises in the Metallurgical Industry as the Basis for Their Financial Performance. *Strategii biznesa*=Business Strategies. 2022;10(9):237-243. DOI: 10.17747/2311-7184-2022-9-237-243. (In Russ.).
5. Prokhorova IS, Ustinov VS, Elkhov AV. Digital Maturity of the Russian Metallurgical Industry: Drivers and Problems of Growth in New Geopolitical Conditions. Part I. Assessment of the Innovative Potential of Digital Transformation. *Vestnik universiteta*=University Bulletin. 2023;11:61-69. (In Russ.).
6. Romanova OA, Sirotin DV. From Industry 4.0 to Industry 5.0: Problems and Opportunities for the Development of Russian Metallurgy. *Stal'*=Steel. 2024;(1):46-52. (In Russ.).
7. Spirin NA, Lavrov VV, Rybolovlev VYu, Schneider DA, Krasnobaev AV, Gurin IA. Digital Transformation of Pyrometallurgical Technologies: Status, Scientific Problems, and Development Prospects. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*=News of Universities. Ferrous Metallurgy. 2021;64(8):588-598. DOI: 10.17073/0368-0797-2021-8-588-598. (In Russ.).
8. Terpugov AE. Development of a mechanism for managing market strategies of the Russian metallurgical industry in modern conditions. *Vestnik universiteta*=Bulletin of the University. 2022;(10):177-184. (In Russ.).
9. Cherkasova VA, Slepushenko GA. The impact of business digitalization on the financial performance of Russian companies. *Finansy: teoriya i praktika*=Finance: Theory and Practice. 2021;25(2):128-142. DOI: 10.26794/2587-5671-2021-25-2-128-142. (In Russ.).
10. Shitikov OV. Digital transformation of the metallurgical complex of Russia: impact on financial indicators and development prospects. *Zhurnal monetarnoy ekonomiki i menedzhmenta*=Journal of Monetary Economics and Management. 2024;(9):105-111. DOI: 10.26118/2782-4586.2024.98.33.015. (In Russ.).
11. Branca TA, Fornai B, Colla V, Murri MM, Streppa E, Schroeder AJ. The Challenge of Digitalization in the Steel Sector. *Metals*. 2020;10(288):1-23. DOI:10.3390/met10020288.

12. Chusmakaev RM. Leading Russian companies on the world steel market. *RUDN Journal of Economics*. 2022;30(3):402-413. DOI: 10.22363/2313-2329-2022-30-3-402-413.

13. Herzog K, Winter G, Kurka G, Ankermann K, Binder R, Ringhofer M, Maierhofer A, Flick A. The Digitalization of Steel Production. *BHM*. 2017;162(11):504-513. DOI: 10.1007/s00501-017-0673-9.

14. Reifferscheid M. Digitalization in the steel industry: Strategies, concepts and solutions by SMS Group . *SEAIISI Quarterly (South East Asia Iron and Steel Institute)*. 2017;46(3):45-50.

15. Skvortsova NV, Kuznetsova MV. Digital Transformation As A Driver Of Economic Development For Metallurgical Companies. *ISCKMC*. 2020;107:1507-1514. DOI: 10.15405/epsbs.2021.05.199.

Информация об авторах

Е. И. Козлова — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Экономика и финансы».

Е. В. Богомолова — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Экономика и финансы».

Information about the authors

E. I. Kozlova — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Finance.

E. V. Bogomolova — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics and Finance.

Статья поступила в редакцию 27.12.2024; одобрена после рецензирования 10.06.2025; принята к публикации 15.06.2025.

The article was submitted 27.12.2024; approved after reviewing 10.06.2025; accepted for publication 15.06.2025.

Вклад авторов: оба автора сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.