

МЕНЕДЖМЕНТ: СОВРЕМЕННЫЙ РАКУРС · MANAGEMENT: A MODERN PERSPECTIVE

Вестник МИРБИС. 2024. № 4 (40): С. 164–174.

Vestnik MIRBIS. 2024; 4 (40): 164–174.

Научная статья

УДК: 338.45

DOI: 10.25634/MIRBIS.2024.4.18

Инновации в металлургии: исторический аспект и будущие перспективы

Александр Юрьевич Малкин^{1,2}, Диана Юрьевна Бобошко^{1,3}

1 Национальный исследовательский технологический университет МИСИС, Москва, Россия.

2 <https://orcid.org/0009-0006-7638-169X>

3 doboshko.dy@misis.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3418-2976>

Аннотация. В статье рассматривается эволюция инноваций в металлургической отрасли, начиная с исторических аспектов и заканчивая современными достижениями. Приведены примеры проектов и практический опыт как отечественных, так и зарубежных компаний, а также мнения признанных экспертов и исследователей. Выявлены проблемы, связанные с внедрением инноваций в металлургии, представлен обзор ключевых публикаций и исследований, а также проведен анализ процесса внедрения и развития инновационных решений в данной сфере.

Ключевые слова: металлургия, инновации, цифровизация, Индустрия 4.0, устойчивое развитие, экологическая проблема, сокращение выбросов, открытые инновации, промышленность.

Для цитирования: Малкин А. Ю. Инновации в металлургии: исторический аспект и будущие перспективы / А. Ю. Малкин, Д. Ю. Бобошко. DOI: 10.25634/MIRBIS.2024.4.18 // Вестник МИРБИС. 2024; 4: 164–174.

JEL: L61

Original article

Innovations in Metallurgy: Historical Aspects and Future Prospects

Alexander Yu. Malkinn^{4,5}, Diana Yu. Boboshko^{4,6}

4 National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia.

5 <https://orcid.org/0009-0006-7638-169X>

6 doboshko.dy@misis.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3418-2976>

Abstract. The article examines the evolution of innovations in the metallurgy industry, starting from historical aspects and concluding with modern achievements. It presents examples of projects and practical experiences from both domestic and foreign companies, as well as opinions from recognized experts and researchers. The article identifies problems related to the implementation of innovations in metallurgy, provides an overview of key publications and studies, and conducts an analysis of the process of implementing and developing innovative solutions in this field.

Key words: metallurgy, innovations, digitalization, Industry 4.0, sustainable development, environmental issues, emission reduction, open innovations, industry.

For citation: Malkinn A. Yu. Innovations in Metallurgy: Historical Aspects and Future Prospects. By A. Yu. Malkinn, D. Yu. Boboshko. DOI: 10.25634/MIRBIS.2024.4.18. *Vestnik MIRBIS*. 2024; 4: 164–174 (in Russ.).

JEL: L61

Введение

Металлургия исторически занимает ключевую роль в экономике, являясь основой для развития инфраструктуры, строительства, машиностроения и множества других отраслей. Сегодня

перед металлургическими предприятиями стоят задачи, связанные с необходимостью повышения экологической ответственности, энергосбережения и устойчивого развития. Эти трудности побуждают компании заниматься поиском и внедрением инноваций, направленных на оптимизацию, снижение издержек и минимизацию вреда, обращенную на окружающую среду.

7 © А. Ю. Малкин, Д. Ю. Бобошко, 2024

Вестник МИРБИС, 2024, № 4 (40), с. 164–174.

Инновации в металлургии играют особую роль, так как они позволяют сохранять конкурентоспособность даже в условиях высокой стандартизации продукции. Несмотря на то, что такие виды металлургической продукции, как арматура или листовой прокат, могут казаться идентичными, современные технологии создают возможности для их улучшения, а инновационные материалы, адаптивные производственные процессы или более экологичные способы выплавки металлов могут стать ключевым конкурентным преимуществом [Го Цзе 2023].

Отсутствие инновационной активности в отрасли могло бы привести к стагнации, усилению монополизации или формированию крупных кластеров производителей с единообразной продукцией. В этих условиях рыночная конкуренция ограничивалась бы только ценовыми факторами, что негативно сказывалось бы на развитии отрасли и экономики в целом [Малкин 2024, 78–81]. Следовательно, именно инновации становятся двигателем прогресса, способствуя формированию новых подходов к производству, распределению и использованию металлургической продукции.

Настоящая работа посвящена исследованию роли инноваций в металлургической отрасли, анализу современных технологических решений и перспектив их внедрения с учетом текущих экономических реалий.

Исторический контекст и тенденции

История инноваций в металлургии начинается задолго до XX века, но именно в этот период произошел качественный скачок в развитии технологий и подходов к производству. В первой половине XX века основное внимание уделялось механизации и модернизации процессов, что позволило значительно увеличить объемы производства и улучшить качество продукции. Внедрение новых методов в виде мартеновского процесса и базового кислородного процесса, открыло дорогу к массовому производству стали с низкой себестоимостью и высокими эксплуатационными характеристиками.

Известный российский металлург Иван Павлович Бардин внёс значительный вклад в развитие отрасли, утверждая, что успешное развитие металлургии невозможно без интеграции новейших научных достижений в производственные процессы. Бардин разработал и внедрил методы, ко-

торые позволили повысить производительность труда и снизить издержки. Его подход базировался на идее непрерывного совершенствования, что предвосхитило современные концепции бережливого производства [Основные направления развития... 2023]. Под его руководством на Кузнецком металлургическом комбинате был внедрен целый ряд технологических новшеств, включая более эффективные печи и улучшенные процессы выплавки.

Во второй половине XX века развитие металлургии в СССР и за его пределами характеризовалось наступательным использованием исследований в области материаловедения и физики металлов. Такая возможность появилась благодаря достижениям научно-исследовательских институтов, в том числе Центральному научно-исследовательскому институту чёрной металлургии (ЦНИИЧМ), внедряющего разработки новых сплавов с улучшенными свойствами, устойчивыми к коррозии и высоким температурам. Применение легирующих элементов в виде хрома и никеля, позволило создать нержавеющие стали и значительно расширить область применения металлических конструкций [Потанин 2023].

В зарубежной практике также наблюдался прогресс. В США и странах Западной Европы металлургические предприятия систематически внедряли новые подходы к автоматизации процессов. Сталелитейные компании United States Steel Corporation и British Steel первыми начали использовать компьютерные системы управления для контроля качества продукции и оптимизации производственных циклов, что обеспечило более высокую точность производства.

С началом 70-х годов XX века и энергетического кризиса металлургия столкнулась с трудностями, а именно — возросшие цены на энергию и сырьё. Такая проблема заставила компаний искать пути повышения энергоэффективности и снижения затрат. В этот период стали популярными новые технологические процессы, в частности метод непрерывной разливки стали, значительно снизивший расход энергии и ускоривший процесс производства. Япония стала пионером в использовании этого метода, что помогло ей стать одним из мировых лидеров в металлургии.

В России и странах бывшего СССР после 1990-х годов произошла перестройка подходов к инновациям в металлургии, вызванная изменениями

в экономических и политических условиях. Переход к рыночной экономике потребовал адаптации новых бизнес-моделей и активного заимствования западных технологий. Северсталь и другие прогрессивные компании начали использовать подходы, предусматривающие комплексное управление производственными процессами, включая компьютерное моделирование, автоматизацию и анализ больших данных.

Современные исследования и технологии

Современные исследования и достижения в области металлургии свидетельствуют о глубоком влиянии технологий Индустрии 4.0 на производственные процессы и стратегическое управление. Индустрия 4.0 подразумевает комплексный подход к цифровизации и автоматизации производственных цепочек с использованием интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения и анализа больших данных.

Клаус Шваб, автор концепции Четвёртой промышленной революции, подчёркивает, что внедрение цифровых технологий коренным образом меняет традиционные промышленные процессы и трансформирует подходы к управлению. По мнению Шваба, интеграция умных технологий позволяет повысить эффективность работы предприятий, сократить издержки и обеспечить устойчивое развитие. Металлургия как одна из старейших и наиболее энергоёмких отраслей стала одним из направлений, где внедрение Индустрии 4.0 проявилось наиболее заметно.

Интернет вещей (IoT) стал важным инструментом для металлургических компаний, стремящихся оптимизировать производственные процессы и улучшить эксплуатацию оборудования [Хоменко 2022]. IoT-системы позволяют в режиме реального времени мониторить состояние оборудования, отслеживать его производительность и предсказывать потенциальные поломки. Например, ArcelorMittal, крупнейший производитель стали в мире, использует сенсорные устройства и системы мониторинга для автоматического сбора данных с производственных линий. Данные затем передаются на централизованные серверы, где анализируются с использованием алгоритмов машинного обучения для прогнозирования сроков обслуживания и предупреждения о возможных неисправностях. Это не только снижает риск остановки производства, но и уменьшает затраты

на внеплановый ремонт и замену оборудования.

Применение искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения оказывает значительное влияние на процессы принятия решений и контроль качества продукции. В металлургических компаниях такие системы анализируют массивы данных, чтобы улучшить процессы производства и снизить количество дефектов [Романова 2021]. В России компания Северсталь интегрирует ИИ в производственные циклы. Один из проектов компании включает использование ИИ для прогнозирования качества стальной продукции на основе анализа характеристик сырья и параметров производственного процесса. Это позволяет снижать количество брака, оптимизировать использование ресурсов и обеспечивать более высокое качество продукции.

Анализ больших данных — ещё один компонент современных металлургических предприятий. В эпоху Индустрии 4.0 обработка данных из различных источников, включая датчики, производственные отчеты и рыночные данные, позволяет компаниям принимать обоснованные решения на основе анализа больших массивов информации [Малкин 2024, 62–63]. Компании используют специальные аналитические платформы для выявления закономерностей и предсказания поведения производственных систем. Например, программы анализа данных в сочетании с ИИ позволяют оптимизировать температурные режимы в печах, что снижает потребление энергии и уменьшает воздействие на окружающую среду.

Цифровизация производственных процессов также включает применение роботизированных систем и автоматизированных решений [Трансформация складских операций... 2024]. Роботы, оснащенные датчиками и подключенные к IoT-системам, могут выполнять работы, связанные с высокой температурой и опасными условиями, повышающим безопасность труда и снижающим риск для работников. Nippon Steel, одна из ведущих металлургических компаний Японии, использует автоматизированные роботы для контроля качества продукции и выполнения задач по обслуживанию оборудования, приводящая к снижению расходов на содержание персонала.

Современные технологии позволяют металлургическим предприятиям развиваться не только с точки зрения производительности, но и устойчивости. Например, аналитические си-

стемы на основе ИИ помогают находить пути к снижению выбросов углекислого газа, что соответствует глобальным стандартам экологической ответственности [Таскин 2024]. Компании внедряют технологии вторичной переработки отходов и работают над созданием замкнутых циклов производства, побочные продукты которых могут быть переработаны и использованы повторно.

Иными словами, современная металлургия является неотъемлемой частью Четвёртой промышленной революции. Использование IoT, ИИ и анализа больших данных стало не просто нововведением, а необходимостью для сохранения конкурентоспособности и адаптации к требованиям современного рынка.

Зарубежный и отечественный опыт: примеры проектов

В настоящее время, металлургия и производство стали являются наиболее загрязняющими отраслями, выбрасывая 145 миллионов тонн CO₂ в 2023 году, что значительно превышает показатели цементной и известковой промышленности, которые составляют 124 миллиона тонн CO₂.

На долю цепочки создания стоимости в черной металлургии сектор ответственен за 25,5 % от общего объема выбросов CO₂, который составляет 569 миллионов тонн для всех промышленных предприятий, охваченных системой торговли выбросами ЕС в 2023 году.

Зарубежный опыт демонстрирует, что металлургические компании активно вкладываются в разработку экологически чистых и устойчивых технологий, стремясь к снижению углеродного следа и повышению энергоэффективности. Соответствующие инвестиции связаны не только с растущими требованиями к экологическим стандартам, но и с усиливающимся общественным и экономическим давлением на сокращение выбросов и переход к более устойчивым производственным практикам. Технологии CCUS (Carbon Capture, Utilization and Storage) охватывают процессы улавливания углекислого газа (CO₂), возникающего при сжигании топлива или в ходе промышленных операций. Эти технологии включают транспортировку CO по трубопроводам, изготовленных из стали или на судах, а также его использование в качестве ресурса для производства ценных продуктов или услуг, либо его долговременное хранение в гео-

логических формациях под землей¹.

В то время как для технологий CCUS применяются различные решения на основе мембран и сорбентов, концепции прямого захвата CO₂ из атмосферы и биоэнергетики с улавливанием и хранением углерода (BECCS) представляют собой принципиально иные подходы. BECCS включает сжигание биомассы с последующим улавливанием CO₂ для его хранения, что потенциально может привести к отрицательным эмиссиям CO₂. Однако технология BECCS все еще находится на экспериментальной стадии.

Tata Steel — индийская сталелитейная компания, уже несколько лет занимает лидирующие позиции в разработке и внедрении экологически безопасных решений и занимает десятое место среди крупнейших сталелитейных компаний мира по объему производства. Один из ведущих проектов компании направлен на улавливание и переработку углерода. Tata Steel Group разрабатывает и внедряет технологии схватывания углекислого газа (CO₂), выделяемого при производстве стали. Такая технология способствует повторному использованию CO₂ в различных промышленных процессах [Таскин 2024].

Помимо этого, Tata Steel активно работает над программами по производству «зеленой» стали, минимизируя углеродные выбросы за счет использования природного газа и других возобновляемых источников энергии. Эта инициатива представляет собой важный шаг к созданию полностью замкнутых производственных циклов, в которых углерод и другие отрицательные выбросы не попадают в атмосферу, а используются многократно.

Thyssenkrupp — крупнейший промышленный концерн Германии и ещё один пример лидера в области устойчивых инноваций. Компания разрабатывает методы снижения выбросов CO₂, в том числе разработки, базирующиеся на использовании водорода. Проект Carbon2Chem, осуществляемый корпорацией, направлен на преобразование выбросов углекислого газа в химические продукты, в виде метанола и аммиака, которые компания сможет реализовать в других промышленных процессах. Концепт предоставляет воз-

¹ A closer look at 2023 emissions: steelmaking caused a quarter of industry pollution. Electronic text // Sandbag : website. Oct 7, 2024. Available at <https://sandbag.be/2024/10/07/a-closer-look-at-2023-emissions/> (accessed 11/19/2024).

возможность применения отходов металлургического производства в качестве сырья для химической промышленности, позволяющий успешно воплощаться экономике замкнутого цикла.

Кроме того, немецкий концерн начал внедрение водородных технологий для замены традиционного углеродного топлива в доменных печах. Используемая технология позволяет значительно снизить выбросы CO_2 при производстве стали и постепенно переходить на полностью «зелёные» технологии¹.

Стартап Boston Metal, поддерживаемый фондом Breakthrough Energy Ventures, созданный Биллом Гейтсом для инвестиций в перспективные экологические проекты, представляет собой инновационный подход к производству стали без выбросов углерода. Boston Metal спроектировал технологию электролиза оксидов железа, главным принципом которого является использование электричества для разделения железа и кислорода. В отличие от привычных методов электролиза оксидов железа, использующих уголь в качестве восстановителя, инновационная технология обеспечивает полное отсутствие углеродных выбросов, позволяющая реализовывать процесс экологически чистым. Следует считать, что метод является революционным, поскольку он способен существенно трансформировать металлургическую промышленность, повышая её устойчивость и снижая зависимость от традиционных источников углеродного топлива.

Авария на АЭС «Фукусима–1» в 2011 году в Японии привела к появлению множества компаний по улавливанию CO_2 . Происшествие послужило сигналом к изменению энергетической политики страны. Атомная энергетика должна была быть постепенно упразднена из эксплуатации, инициировав рост количества углеродного топлива, используемого на тепловых электростанциях, а в последствии, увеличились и выбросы углекислого газа в атмосферу. Со снижением поступающих выбросов может справиться химическое поглощение CO_2 , данный процесс основывается на реакции углекислого газа с химическими растворителями. Наиболее изученным методом улавливания

CO_2 можно назвать аминовые растворители, применяемые десятилетиями в промышленности и обладающими высоким уровнем готовности к технологиям (TRL 9–11). Химическая абсорбция применяется в нескольких проектах по всему миру, в том числе в японском проекте COURSE50 (CO_2 Ultimate Reduction System for Cool Earth 50), сокращающем выбросы углекислого газа в ходе добычи и переработки металлов. Японская федерация чугуна и стали (JIPS) планирует замену водородом весь кокс, используемый в отрасли.

В настоящее время в России нет предприятий, выпускающих сталь с использованием технологии железа прямого восстановления (DRI) в контексте зеленой металлургии. Вопреки этому, в 2022 году стартовало строительство завода по производству зеленой стали «Эколант» в Выксе (Нижегородская область) с запуском в 2025 году. По словам представителей компании, этот проект не имеет аналогов в стране и включает в себя современные технологии и решения, в том числе и метод DRI.

Технология Эколанта исключает выбросы, возникающие при производстве кокса, агломерата и чугуна, позволяющих уменьшить выбросы углекислого газа и оксида серы в атмосферу до трех раз по сравнению с традиционными доменно-конвертерными методами².

Другие российские проекты в сфере металлургических инноваций демонстрируют более значительные успехи. Компания Северсталь совместно со стартапом ПромТехИнновации внедряет цифровые технологии для повышения конкурентоспособности. Разработка решений, основанных на машинном обучении и анализе данных, способствует усовершенствованию производственных процессов [Сокольников 2023]. Эти новшества обеспечат более быстрое обнаружение дефектов и корректировку производственных параметров в реальном времени, сократят количество выбрасываемых отходов.

Перспективные российские инициативы также включают проекты по разработке новых видов стали и сплавов, высоко устойчивым к коррозии и экстремальным температурам. За счет актуальности проблематики подобные проекты зачастую

1 Thyssenkrupp's Carbon2Chem awarded € 75 million in second-phase funding. Electronic text // Sustainable Plastics : website. Oct 29, 2020. Available at <https://www.sustainableplastics.com/news/thyssenkrupps-carbon2chem-awarded-eu-75-million-second-phase-funding> (accessed 11/19/2024).

2 См. «Эколант» — проект строительства завода по производству стали в Выксе, Нижегородская область. Текст : электронный // Эколант : официальный сайт проекта. URL: <https://ecolantvyksa.ru/main#about> (дата обращения 19.11.2024).

поддерживаются государственными программами и фондами, позволяющих благополучно развиваться инновациям. Такими инвесторами выступают, например, Фонд Сколково и Российская венчурная компания [Бобошко 2023, 30–31].

Экологические программы и перспективы в России наряду с зарубежными компаниями становятся важным элементом стратегического развития металлургии. Например, EVRAZ Group, одна из крупнейших металлургических и горнодобывающих компаний мира с активами в России, США, Канаде, Чехии, Италии и Казахстане работает над снижением отрицательных выбросов и улучшением экологического контроля. Эти меры включают установку инновационных фильтрационных систем и технологических решений, позволяющих улавливать и перерабатывать побочные продукты производства.

Зарубежный опыт и примеры инновационных проектов показывают, что металлургия сегодня является важной частью глобальной тенденции по переходу на устойчивые технологии [Бобошко 2023а, 27]. Внедрение IoT, ИИ, водородных технологий и других решений способствует созданию более экологичных и эффективных производственных процессов.

Инноватика в металлургии

Выявление связей между металлургией и инноватикой является необходимым процессом для разработки и внедрения эффективных стратегий развития, обращенных на повышение конкурентоспособности и устойчивости отрасли. В настоящих реалиях развитие металлургии невозможно без интенсивного применения научно-технологических достижений. Инноватика, как дисциплина, занимается исследованием процессов создания, внедрения и коммерциализации инноваций, и её интеграция в металлургию способствует повышению производственной эффективности, снижению затрат и улучшению экологических показателей [Малкин 2024а, 130–133].

Майкл Портер, выдающийся экономист и создатель теории конкурентных стратегий, в своих исследованиях акцентирует внимание на значении инноваций как решающего фактора для достижения устойчивого конкурентного преимущества. В своей работе «Конкурентное преимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость» Портер утверждает, что компании, которые интенсивно внедряют инновации, спо-

собны удерживать свои лидерские позиции даже в условиях жёсткой глобальной конкуренции. Инновации позволяют повышать качество продукции, улучшать производственные процессы и маневреннее адаптироваться к изменениям рыночных условий. Для металлургической отрасли это крайне значимо, из-за трудностей, связанных с высокими затратами на сырьё и энергоресурсы, а также с необходимостью снижения углеродного следа [Портер 2008, 217–221].

Металлургические компании, осознавшие полезность интеграции инноватики в свои стратегии, внедряют решения, направленные на оптимизацию процессов и расширение ассортимента продукции с высокими потребительскими свойствами. Так, использование автоматизации и систем искусственного интеллекта (ИИ) в управлении производственными процессами позволяет снижать затраты и значительно повышать качество готовой продукции. Данные исследования в области промышленной оптимизации предполагают, что автоматизация искусственного интеллекта вполне способна повысить производительность на 10–15 % и уменьшить число дефектов на производстве.

О важности сотрудничества компаний с университетами, стартапами и исследовательскими институтами повествует Генри Чесбро, автор концепции «открытых инноваций». Открытые инновации предполагают обмен знаниями и технологиями, ускоряющих внедрение новых решений. Он отмечает, что открытые инновации значительно сокращают время и затраты на разработку технологий по сравнению с закрытой моделью, все исследования которой проводятся внутри компании.

Сочетание металлургии и инноваций снижает себестоимость и способствует созданию новых продуктов с уникальными характеристиками. Сплавы с высокой коррозионной стойкостью и прочностью интенсивно используются в строительстве и машиностроении. Технологии подобных разработок требуют значительных инвестиций в исследования, но благодаря улучшенным характеристикам и увеличенному сроку службы продукции они быстро окупаются.

Для решения нынешних и предстоящих экологических проблем инновации могут послужить спасательным кругом. В настоящее время, перед металлургией стоит приоритетная задача — сни-

жение углеродного следа и переход на возобновляемые источники энергии. Применение технологий обработки отходов и привлечение возобновляемых ресурсов содействуют соблюдению экологических норм и повышают имидж компании.

Взаимосвязь металлургии и инновациями охватывает стратегическое планирование, формирование партнерских отношений и готовность к долгосрочным вложениям в научные исследования и разработки.

Проблемы, риски и перспективы внедрения инноваций

Инновационные проекты в металлургии характеризуются высоким уровнем риска, обусловленным неопределенностью в достижении экономических результатов. Риск определяется как вероятность возникновения негативных событий, способных помешать достижению ожидаемого эффекта от внедрения новых технологий и продуктов.

Внедрение инноваций в металлургии приносит много преимуществ, но также связано с определенными трудностями.

1. Квалификация.

Металлургические компании испытывают дефицит специалистов, способных совладать с современными технологиями. Технологический прогресс требует новых знаний и навыков, недостаток которых создает разрыв между потребностями компаний и способностями работников. Описанное явление называется «технологический разрыв». Для избавления от технологического разрыва и совладения с трудными комплексными технологическими решениями подобно искусственному интеллекту и интернету вещей, требуется новое поколение специалистов в области программирования и анализа данных, так как сфера перманентно растет и развивается. Компании обеспечивают обучение и переквалификацию сотрудников, взаимодействуют с университетами и учебными заведениями посредством подготовки специалистов с целью минимизации отставания в квалификации рабочих.

2. Финансы

Возможно, основной проблемой внедрения нововведений в предприятие составляет поиск инвестиций и финансов. Разработка и реализация новых технологий требуют колоссальных капиталовложений, которые не всегда могут быть

доступны даже крупным компаниям. К рискам инновационного процесса относят, в первую очередь, риски, связанные с привлечением инвестиций в научные исследования и опытные разработки.

3. Экология

Металлургическая отрасль во многих странах сталкивается с усилением экологических норм и требований. Говоря об этом, следует вспомнить, что Европейский Союз вводит строгие ограничения на выбросы углерода, что вынуждает компании внедрять новые технологии, сокращающих воздействие на окружающую среду.

Положительным примером перехода на более экологически чистые методы производства служит Новолипецкий металлургический комбинат. НЛМК интенсивно реализует технологии улавливания и переработки углекислого газа, позволяющих существенно сократить выбросы парниковых газов.

4. Адаптация

Инновационные решения зачастую требуют значительных изменений в существующих производственных процессах. Интеграция новых технологий обусловлена с необходимостью адаптации оборудования, модернизации инфраструктуры и изменением рабочих процессов. Грамотные руководители компаний уделяют внимание стратегическому планированию и разработке комплексных программ внедрения. Примером такой компании можно назвать ArcelorMittal, являющимся крупнейшим мировым производителем стали. Компания, которая стала скрещенным продуктом трех крупных европейских производителей, разработала поэтапную систему внедрения инноваций, имея преимущество при предсказании возможных рисков, пошагово обучаясь на ошибках предшествующих внедрений.

5. Планирование

Для того, чтобы внедрить инновационный продукт, организациям необходимо грамотно построить стратегический менеджмент, учитывающий финансовые и технические аспекты, потенциальные изменения на рынке и потребительские предпочтения. Примеры успешных компаний демонстрируют, что те, кто создает и реализует стратегические программы по инновационному развитию, имеют возможность спокойнее адаптироваться к изменениям и опережать своих конкурентов. Ярким примером является немец-

кая корпорация Thyssenkrupp, активно внедряющая технологии на основе водорода для снижения уровней углеродных выбросов. К другим немаловажным проблемам можно отнести риски, связанные с подписанием невыгодных контрактов или сотрудничеством с неплатежеспособными партнерами, маркетинговые риски, связанные с обеспечением потребителей новыми товарами и услугами, а также проблемы с правами собственности, защитой патентов и авторских прав.

Риски могут возникать на различных этапах инновационного процесса: на стадии зарождения, разработки и коммерциализации. На каждом из этих этапов важно учитывать как фундаментальные, так и внутренние факторы, влияющие на уровень риска. Чем ниже степень завершенности инновации, тем выше риск.

Таблица 1. Влияние степени завершенности инновации на уровень риска инновационного проекта

№	Степень завершенности инновации	Степень риска		
		Незначительная	Умеренная	Критический
1	Инновационные проекты, ориентированные на вывод готового продукта на рынок.	!		
2	Инновационные проекты, находящиеся в процессе внедрения.	!	!	
3	Инновационные проекты, находящиеся на стадии разработки и испытаний.		!	!
4	Инновационные проекты, находящиеся на этапе научных исследований			!
5	Инновационные проекты, находящиеся на стадии предварительных исследований.			!

Источник: таблица авторов по данным настоящего исследования

Несмотря на трудности, внедрение инноваций в металлургии открывает новые возможности для создания качественных продуктов и обеспечения экологической устойчивости. Важным направлением будущего является использование технологий Индустрии 4.0, включающих IoT и искусственный интеллект. Внедрение перечисленных технологий в силах поспособствовать автоматизации процессов и снижению влияния человеческого фактора, а в последствии, снизить затраты на изготовление сырья и усовершенствовать их качество. Укрепление международного сотрудничества и опыт компаний с аналогичными целями в подоб-

ных разработках повлекло за собой ускорение внедрения инноваций Boston Metal, характерный пример успешного международного стартапа, реализовавший концепт с безуглеродной технологией производства стали, доказывают, что инвестиции в экологически чистые технологии в том числе могут стать ключом к успеху.

Заключение

На основе анализа можно сделать вывод, что металлургическая отрасль обладает высоким потенциалом для развития инноваций, в следствии, обеспечивает её конкурентоспособность и соответствие современным экологическим стандартам. Инновационные работы И. П. Бардина доказывают, что развитие отрасли всегда зависело от интеграции научных достижений и новых технологий [Механик 2021]. Новейшие исследования подтверждают, что инновации Индустрии 4.0, включая искусственный интеллект и интернет вещей, широко применяются на металлургических предприятиях для улучшения производства сырья, ведущему к прогрессу изготовления качественной готовой продукции.

Зарубежный опыт демонстрирует, что международные компании, подобно ArcelorMittal и Tata Steel, играют ведущую роль в разработке и внедрении устойчивых технологий, что помогает улучшать экологические показатели и соответствовать международным требованиям. Российские компании, в частности, Северсталь и НЛМК, также успешно реализуют программы цифровизации и внедрения новых технологий, несмотря на финансовые барьеры и проблемы нехватки квалифицированных кадров.

Эксперты, включая Клауса Шваба и Генри Чесбро, подчеркивают важность комплексного подхода и открытых инноваций, где сотрудничество с внешними партнерами, университетами и научными учреждениями ускоряет внедрение новых технологий [Шваб 2016], [Чесбро 2007].

Будущее развитие металлургии зависит от поддержки инновационной деятельности на государственном и корпоративном уровнях. Инвестиции в исследования и разработки, создание благоприятной среды для стартапов и использование открытых инноваций могут стать основой для устойчивого роста и лидерства на международном рынке.

Список источников

1. Бобошко 2023 — *Бобошко Д. Ю.* Анализ мер государственной поддержки инновационной деятельности субъектов малого и среднего предпринимательства в РФ / Д. Ю. Бобошко, В. С. Бондаренко. DOI: 10.18572/1813–1247-2023-7-28-32. EDN: OEXROZ // Государственная власть и местное самоуправление. 2023; 7:28–32. ISSN: 1813-1247.
2. Бобошко 2023а — *Бобошко Д. Ю.* Цифровые экосистемы и их роль в развитии малого и среднего предпринимательства в РФ. DOI: 10.26730/2587–5574-2023-2-22-30. EDN: SIXJKW // Экономика и управление инновациями. 2023а; 2:22–30. ISSN: 2587-5574.
3. Трансформация складских операций... 2024 — Трансформация складских операций на ао «qarmet» посредством умной системы управления / З. С. Гельманова, М. В. Коноваленко, А. С. Петровская, Н. Б. Турсынов, М. А. Латыпова // Endless light in science. 2024; 6:10–18. eISSN: 2709-1201. Текст : электронный. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-skladskih-operatsiy-na-ao-qarmet-posredstvom-umnoy-sistemy-upravleniya> (дата обращения: 18.11.2024). eISSN: 2709-1201.
4. Го Цзе 2023 — *Го Цзе.* Специфика современной трансформации развития сталелитейной индустрии в региональной экономике. EDN: QLCDOG // Инновации и инвестиции. 2023; 8:335–338. ISSN: 2307-180X.
5. Малкин 2024а — *Малкин А. Ю.* Выявление факторов, влияющих на формирование ипотечных пузырей и их цикличность: анализ на основе циклов Кузнеца / А. Ю. Малкин, Е. А. Дробнов, Д. Ю. Бобошко. DOI: 10.25634/MIRBIS.2024.3.16. EDN: FUTBEC // Вестник МИРБИС. 2024а; 3:122–136. eISSN: 2411-5703.
6. Малкин 2024 — *Малкин А. Ю.* Оптимизация производственных процессов на предприятиях металлургической отрасли. EDN: RJMKEC // Актуальные проблемы экономики и управления в XXI веке : Сборник научных статей X Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 2. Новокузнецк, 24 апреля 2024 года. Новокузнецк : Сибирский государственный индустриальный университет, 2024. 292 с. С. 60–64.
7. Малкин 2024б — *Малкин А. Ю.* Синтез методических подходов к анализу жизненного цикла организации. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.05.07.008. EDN: ADOTNE // Экономика и управление: проблемы, решения. 2024б. 7(5):73–83. ISSN: 2227-3891; eISSN: 2308-927X.
8. Механик 2021 — *Механик А.* Металлургия непрерывного действия. Текст : электронный // Стимул. Журнал об инновациях в России : сайт журнала. 10.11.2021. URL: <https://www.stimul.online/articles/science-and-technology/metallurgiya-nepreryvnogo-deystviya/> (дата обращения: 19.11.2024).
9. Основные направления развития... 2024 — Основные направления развития отечественной металлургии в разрезе мировых тенденций / Н. И. Анелькин, А. В. Манцевич, Д. Г. Войтеховский, С. А. Мозгов. DOI: 10.21122/1683-6065-2023-2-31-44. EDN: QITCLS // Литьё и металлургия = Foundry Production and Metallurgy. 2023; 2:31–44. ISSN: 1683-6065; eISSN: 2414-0406.
10. Портер 2008 — *Портер М. Ю.* Конкурентное преимущество: Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость / перевод с английского Е. Калининой. Москва : Альпина Паблишер, 2008. 720 с. ISBN: 978-5-9614-0760-0.
11. Потанин 2023 — *Потанин В. В.* Механизм устойчивого развития экосистемы промышленного предприятия как элемент обеспечения технологического суверенитета. DOI: 10.14529/em230413. EDN: BCZJYL // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент = Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management. 2023; 17(4):143–151. ISSN: 1997-0129; eISSN: 2413-1016.
12. Романова 2024 — *Романова О. А.* Цифровизация производственных процессов в металлургии: тенденции и методы измерения / О. А. Романова, Д. В. Сиротин. DOI: 10.21440/2307-2091-2021-3-136-148. EDN: YSRQSS // Известия Уральского государственного горного университета. 2021; 3:136-148. ISSN: 2307-2091; eISSN: 2500-2414.
13. Сокольников 2023 — *Сокольников В. В.* Анализ аддитивных технологий / В. В. Сокольников, Д. С. Андрюхина, Д. А. Зиновкина. EDN: JRVTCT // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral = International Journal of Applied Sciences and Technology Integral. 2023; 3. ISSN: 2658-3569.
14. Таскин 2024 — *Таскин Ф. А.* Реализация концепции экономики замкнутого цикла в Германии. DOI: 10.24412/2304-120X-2024-13001. EDN: OZSDKT // Научно-методический электронный журнал Концепт. 2024; 3:193–200. eISSN: 2304-120X.
15. Трансформация складских операций... 2024 — Трансформация складских операций на АО Garmet посредством умной системы управления / З. С. Гельманова, М. В. Коноваленко, А. С. Петровская, Н. Б. Турсынов, М. А. Латыпова // Endless light in science. 2024; 6:10–18. eISSN: 2709-1201. Текст : электронный. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-skladskih-operatsiy-na-ao-qarmet-posredstvom-umnoy-sistemy-upravleniya> (дата обращения: 18.11.2024).

16. Таскин 2022 — Хоменко Е. Б. Современные тенденции цифровой трансформации промышленных предприятий / Е. Б. Хоменко, Л. А. Ватутина, Е. Ю. Злобина. DOI: 10.35634/2412-9593-2022-32-4-676-682. EDN: EYHZIV // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. 2022; 32(4): 676–682. ISSN: 2412-9593; eISSN: 2413-2446.
17. Таскин 2007 — Чесбро Г. Открытые инновации: создание прибыльных технологий / Генри Чесбро; перевод с английского В. Н. Егорова. Москва : Поколение, 2007. 336 с. ISBN: 978-5-9763-0054-5.
18. Таскин 2016 — Шваб К. Четвертая промышленная революция : монография. Перевод с английского. Москва : Эксмо, 2016. 208 с. ISBN 978-5-699-90556-0.

References

1. Boboshko D. Yu. Analiz mer gosudarstvennoy podderzhki innovatsionnoy deyatel'nosti sub"yektov malogo i srednego predprinimatel'stva v RF [Analysis of measures of state support for innovative activities of small and medium-sized businesses in the Russian Federation]. By D. Yu. Boboshko, V. S. Bondarenko. DOI: 10.18572/1813-1247-2023-7-28-32. EDN: OEXROZ. *Gosudarstvennaya vlast' i mestnoye samoupravleniye*. 2023; 7:28–32. ISSN: 1813-1247 (in Russ.).
2. Boboshko D. Yu. Tsifrovyye ekosistemy i ikh rol' v razvitiy malogo i srednego predprinimatel'stva v RF [Digital ecosystems and their role in the development of small and medium-sized businesses in the Russian Federation]. DOI: 10.26730/2587-5574-2023-2-22-30. EDN: SIXJKW. *Ekonomika i upravleniye innovatsiyami*. 2023a; 2:22–30. ISSN: 2587-5574 (in Russ.).
3. Transformatsiya skladsikh operatsiy na ao «qarmet» posredstvom umnoy sistemy upravleniya [Transformation of warehouse operations at JSC Qarmet through a smart management system]. By Z. S. Gelmanova, M. V. Konovalenko, A. S. Petrovskaya, N. B. Tursynov, M. A. Latypova. *Endless light in science*. 2024; 6:10–18. eISSN: 2709-1201. Text: electronic. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-skladsikh-operatsiy-na-ao-qarmet-posredstvom-umnoy-sistemy-upravleniya> (date of access: 18.11.2024). eISSN: 2709-1201 (in Russ.).
4. Guo Jie. Spetsifika sovremennoy transformatsii razvitiya staliliteynoy industrii v regional'noy ekonomike [Specifics of the modern transformation of the development of the steel industry in the regional economy]. EDN: QLCDOG. *Innovatsii i investitsii*. 2023; 8:335–338. ISSN: 2307-180X (in Russ.).
5. Malkin A. Yu. Vyyavleniye faktorov, vliyayushchikh na formirovaniye ipoteknykh puzyrey i ikh tsiklichnost': analiz na osnove tsiklov Kuznetsa [Identification of factors influencing the formation of mortgage bubbles and their cyclicity: analysis based on Kuznets cycles]. By A. Yu. Malkin, E. A. Drobnoy, D. Yu. Boboshko. DOI: 10.25634/MIRBIS.2024.3.16. EDN: FUTBEC. *Vestnik MIRBIS*. 2024a; 3:122–136. eISSN: 2411-5703 (in Russ.).
6. Malkin A. Yu. Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov na predpriyatiyakh metallurgicheskoy otrasli [Optimization of production processes at enterprises of the metallurgical industry]. EDN: RJMKEC. *Aktual'nyye problemy ekonomiki i upravleniya v XXI veke* [Actual problems of economics and management in the 21st century : Collection of scientific articles of the 10th International scientific and practical conference. In 2 parts. Part 2. Novokuznetsk, April 24, 2024. Novokuznetsk : Siberian State Industrial University Publ., 2024. 292 p. P. 60–64 (in Russ.).
7. Malkin A. Yu. Sintez metodicheskikh podkhodov k analizu zhiznennogo tsikla organizatsii [Synthesis of methodological approaches to the analysis of the life cycle of an organization]. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.05.07.008. EDN: ADOTNE. *Ekonomika i upravleniye: problemy, resheniya*. 2024. 7(5):73–83. ISSN: 2227-3891; eISSN: 2308-927X (in Russ.).
8. Mechanic A. Metallurgiya nepreryvnogo deystviya [Continuous metallurgy]. Text: electronic. *Stimul. Journal of Innovations in Russia : journal website*. 11/10/2021. URL: <https://www.stimul.online/articles/science-and-technology/metallurgiya-nepreryvnogo-deystviya/> (date of access: 19.11.2024) (in Russ.).
9. Osnovnyye napravleniya razvitiya otechestvennoy metallurgii v razreze mirovykh tendentsiy [The main directions of development of domestic metallurgy in the context of global trends]. By N. I. Anelkin, A. V. Mantsevich, D. G. Voitekhovskiy, S. A. Mozgov. DOI: 10.21122/1683-6065-2023-2-31-44. EDN: QITCLS. *Foundry Production and Metallurgy*. 2023; 2:31–44. ISSN: 1683-6065; eISSN: 2414-0406 (in Russ.).
10. Porter M. Yu. Konkurentnoye preimushchestvo: Kak dostich' vysokogo rezul'tata i obespechit' yego ustoychivost' [Competitive advantage: How to achieve high results and ensure their sustainability]. Translated from English by E. Kalinina. Moscow : Alpina Publisher Publ., 2008. 720 p. ISBN: 978-5-9614-0760-0 (in Russ.).
11. Potanin V. V. Mekhanizm ustoychivogo razvitiya ekosistemy promyshlennogo predpriyatiya kak element obespecheniya tekhnologicheskogo suvereniteta [Mechanism of sustainable development of the industrial enterprise ecosystem as an element of ensuring technological sovereignty]. DOI: 10.14529/em230413. EDN: BCZJYL. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Economics and Management*. 2023; 17(4):143–151. ISSN: 1997-0129; eISSN: 2413-1016 (in Russ.).

12. Romanova O. A. Tsifrovizatsiya proizvodstvennykh protsessov v metallurgii: tendentsii i metody izmereniya [Digitalization of production processes in metallurgy: trends and measurement methods]. By O. A. Romanova, D. V. Sirotin. DOI: 10.21440/2307-2091-2021-3-136-148. EDN: YSRQSS. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2021; 3:136-148. ISSN: 2307-2091; eISSN: 2500-2414 (in Russ.).
13. Sokolnikov V. V. Analiz additivnykh tekhnologiy [Analysis of additive technologies]. By V. V. Sokolnikov, D. S. Andryukhina, D. A. Zinovkina. EDN: JRVTCR. *International Journal of Applied Sciences and Technology Integral*. 2023; 3. ISSN: 2658-3569 (in Russ.).
14. Taskin F. A. Realizatsiya kontseptsii ekonomiki zamknutogo tsikla v Germanii [Implementation of the concept of a circular economy in Germany]. DOI: 10.24412/2304-120X-2024-13001. EDN: OZSDKT. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal Kontsept*. 2024; 3:193–200. eISSN: 2304-120X (in Russ.).
15. Transformatsiya skladskiikh operatsiy na ao «qarmet» posredstvom umnoy sistemy upravleniya [Transformation of warehouse operations at Qarmet JSC through a smart management system]. By Z. S. Gelmanova, M. V. Konovalenko, A. S. Petrovskaya, N. B. Tursynov, M. A. Latypova. *Endless light in science*. 2024; 6:10–18. eISSN: 2709-1201. Text: electronic. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-skladskih-operatsiy-na-ao-qarmet-posredstvom-umnoy-sistemy-upravleniya> (Accessed: 18.11.2024) (in Russ.).
16. Khomenko E. B. Sovremennyye tendentsii tsifrovoy transformatsii promyshlennykh predpriyatiy [Modern trends in digital transformation of industrial enterprises]. By E. B. Khomenko, L. A. Vatutina, E. Yu. Zlobina. DOI: 10.35634/2412-9593-2022-32-4-676-682. EDN: EYHZIV. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Ekonomika i pravo*. 2022; 32(4): 676–682. ISSN: 2412-9593; eISSN: 2413-2446 (in Russ.).
17. Chesbrough G. Otkrytyye innovatsii: sozdaniye pribyl'nykh tekhnologiy [Open Innovation: Creating Profitable Technologies]. Henry Chesbrough ; translated from English by V. N. Egorova. Moscow : Pokolenie Publ., 2007. 336 p. ISBN: 978-5-9763-0054-5 (in Russ.).
18. Schwab K. Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya [The Fourth Industrial Revolution]. Translation from English. Moscow : Eksmo Publ., 2016. 208 p. ISBN 978-5-699-90556-0 (in Russ.).

Информация об авторах:

Малкин Александр Юрьевич — студент магистратуры; **Бобошко Диана Юрьевна** — кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики, SPIN-код: 6810-3215.

Место работы авторов: федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС», Ленинский проспект, 4/1. Москва, 117049, Россия.

Information about the authors:

Malkin Aleksandr Yu. – Master's student; **Boboshko Diana Yu.** – candidate of economic sciences, associate professor, associate professor of the Department of Economics, SPIN-code: 6810-3215.

Authors' place of work: National University of Science and Technology "MISIS", Leninsky Prospekt, 4/1. Moscow, 117049, Russia..

Статья поступила в редакцию 10.11.2024; одобрена после рецензирования 22.11.2024; принята к публикации 29.11.2024.

The article was submitted 11/10/2024; approved after reviewing 11/22/2024; accepted for publication 11/29/2024.