

Влияние цифровизации производственных процессов на трансформацию структуры трудовых ресурсов и экономическую эффективность в угольной промышленности

Л.М. Фомичева, О.Н. Пронская, И.В. Белянина, А.И. Архангельский, Е.Л. Арзамасова ✉

Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация

✉ Kstvg-15@yandex.ru

Резюме: Стремительное развитие цифровых технологий в горнодобывающей отрасли обуславливает кардинальные изменения в структуре и качественных характеристиках трудовых ресурсов, формируя новые модели организации производственных процессов и систем управления персоналом. Современные тенденции автоматизации и роботизации горных работ, внедрение систем искусственного интеллекта и больших данных в управление производством создают принципиально новые требования к компетенциям работников и меняют традиционные подходы к оценке экономической эффективности трудовых ресурсов. Цель исследования – комплексный анализ влияния цифровизации производственных процессов на трансформацию структуры трудовых ресурсов и определение экономических эффектов от внедрения цифровых технологий в угольной промышленности. Основные задачи – анализ динамики изменения профессионально-квалификационной структуры персонала под воздействием цифровых технологий; оценка экономической эффективности инвестиций в цифровизацию с учетом трансформации трудовых процессов; разработка методических подходов к оптимизации структуры трудовых ресурсов в условиях цифровой трансформации. Методологическую основу составили методы экономико-статистического анализа, корреляционно-регрессионного моделирования, экспертного оценивания и сравнительного анализа. Эмпирическая база включает данные по 48 угледобывающим предприятиям России за период 2019–2024 гг., результаты опросов 1340 специалистов отрасли и статистическую информацию о внедрении цифровых технологий.

Результаты исследования показывают, что цифровизация приводит к сокращению доли рабочих традиционных профессий на 21,4% при одновременном росте потребности в IT-специалистах на 285% и операторах роботизированных систем на 156%. Коэффициент экономической эффективности цифровизации составляет 2,12, период окупаемости инвестиций сокращается с 7,8 до 4,2 лет. Установлена положительная корреляция между уровнем цифровизации и производительностью труда ($r = 0,821$). Теоретическая значимость работы заключается в развитии концептуальных представлений о трансформации трудовых отношений в условиях цифровой экономики применительно к специфике горнодобывающей отрасли. Практическая ценность определяется возможностью использования полученных результатов для стратегического планирования развития человеческих ресурсов и оптимизации инвестиционных решений в области цифровизации угольных предприятий.

Ключевые слова: цифровизация, трудовые ресурсы, угольная промышленность, профессиональная структура персонала, производительность труда

Для цитирования: Фомичева Л.М., Пронская О.Н., Белянина И.В., Архангельский А.И., Арзамасова Е.Л. Влияние цифровизации производственных процессов на трансформацию структуры трудовых ресурсов и экономическую эффективность в угольной промышленности. *Горная промышленность*. 2025;(5):137–145. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-137-145>

Effects of digitalization of production processes on the transformation of the labour force structure and economic efficiency in the coal industry

L.M. Fomicheva, O.N. Pronskaya, I.V. Belyanina, A.I. Arkhangelskiy, E.L. Arzamasova ✉

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

✉ Kstvg-15@yandex.ru

Abstract: Rapid development of digital technologies in the mining industry is causing fundamental changes in the structure and quality characteristics of the labour force, forming new models of production processes and personnel management systems. Modern trends in automation and robotization of mining operations, introduction of artificial intelligence and big data

systems in production management are creating fundamentally new requirements for employee competencies and changing the traditional approaches to assessing the economic efficiency of labour resources. The objective of the study is to carry out a comprehensive analysis of the effects of digitalization of the production processes on the transformation of the labour force structure and to determine the economic effects of introducing digital technologies in the coal industry. The main tasks are to analyze the dynamics of changes in the job and qualification structure of personnel under the impact of digital technologies; to assess the economic efficiency of investments in digitalization with account of the transformation in the labour processes; to develop methodological approaches to optimizing the structure of labour resources in conditions of digital transformation. The methodological framework is based on the methods of economic and statistical analysis, correlation and regression modelling, expert assessment and comparative analysis. The empirical base includes data on 48 coal mining companies in Russia for the period of 2019-2024, the results of interviews with 1,340 industry experts, and statistical information on the implementation of digital technologies.

The results of the study show that digitalization leads to a 21.4% reduction in the share of workers in traditional jobs, while the demand for IT specialists grows by 285% and that for operators of robotic systems by 156%. The economic efficiency ratio of digitalization is 2.12, and the return on investment period is reduced from 7.8 to 4.2 years. A positive correlation has been established between the level of digitalization and the labour productivity ($r = 0.821$). The theoretical significance of the work lies in developing conceptual ideas on transformation of labour relations in the digital economy in specific conditions of the mining industry. The practical value is defined by the possibility of using the obtained results for strategic planning of the human resources development and optimization of the investment decisions in the field of digitalization of coal companies.

Keywords: digitalization, labour resources, coal industry, job structure of personnel, labour productivity

For citation: Fomicheva L.M., Pronskaya O.N., Belyanina I.V., Arkhangelskiy A.I., Arzamasova E.L. Effects of digitalization of production processes on the transformation of the labour force structure and economic efficiency in the coal industry. *Russian Mining Industry*. 2025;(5):137–145. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-137-145>

Введение

Современный этап развития мировой экономики характеризуется масштабной цифровой трансформацией, охватывающей все отрасли промышленности, включая традиционно консервативную угольную отрасль. Внедрение технологий Индустрии 4.0, систем интернета вещей, больших данных и искусственного интеллекта кардинально меняет не только производственные процессы, но и требования к человеческому капиталу, создавая новые вызовы для управления трудовыми ресурсами [1]. Исследования последних лет демонстрируют, что цифровизация горнодобывающих предприятий приводит к существенным изменениям в структуре занятости, требованиях к квалификации персонала и методах оценки экономической эффективности трудовых процессов [2]. Особую актуальность приобретают понимание механизмов адаптации трудовых ресурсов к новым технологическим условиям и оценка экономических последствий этих изменений для устойчивого развития угольной отрасли [3]. По данным 2024 г. более 70% крупных российских предприятий уже используют цифровые решения для повышения эффективности производства, при этом в угольной отрасли доля импортных технологий по отдельным видам достигает 90%, что актуализирует вопросы импортозамещения и развития отечественных цифровых компетенций.

Анализ современной научной литературы выявляет различные подходы к исследованию влияния цифровых технологий на трансформацию трудовых отношений в промышленности. Технологический детерминизм рассматривает цифровизацию как основной драйвер изменений в структуре занятости, подчеркивая неизбежность замещения человеческого труда автоматизированными системами [4]. Социально-экономический подход акцентирует внимание на двустороннем характере взаимодействия между технологическими инновациями и социально-трудовыми отношениями, подчеркивая роль человеческого фактора в успешной реализации цифровых проектов [5]. Институциональная теория фокусируется на изучении влияния организационных структур и управленческих практик на

эффективность внедрения цифровых технологий в трудовые процессы [6]. Эволюционная экономика рассматривает цифровизацию как процесс коэволюции технологий и трудовых компетенций, требующий адаптивных стратегий управления человеческими ресурсами. В российском контексте наблюдается снижение горизонтов стратегического планирования в промышленности, что ограничивает возможности для долгосрочных улучшений в области цифровизации трудовых процессов.

Терминологический анализ показывает значительные разночтения в определении ключевых понятий исследуемой области. Цифровизация трактуется как внедрение цифровых технологий в производственные процессы, трансформация бизнес-моделей на основе цифровых платформ или комплексная модернизация предприятий с использованием данных и алгоритмов. В контексте данного исследования цифровизация определяется как системный процесс интеграции цифровых технологий в производственные и управленческие процессы угольных предприятий, направленный на повышение операционной эффективности и создание новых источников стоимости. Трансформация трудовых ресурсов понимается как качественные и количественные изменения в составе, структуре и компетенциях персонала под воздействием технологических инноваций. Экономическая эффективность цифровизации трактуется как соотношение между полученными экономическими результатами и затратами на внедрение и эксплуатацию цифровых решений с учетом изменений в использовании трудовых ресурсов. Современные тренды в российской промышленности показывают, что цифровая трансформация стала не просто вопросом конкурентоспособности, но и необходимостью для выживания в условиях растущего дефицита кадров.

Критический анализ литературы выявляет несколько ключевых пробелов в современных исследованиях. Во-первых, отсутствует комплексная методология оценки влияния цифровизации на трансформацию структуры трудовых ресурсов в специфических условиях угольной промышленности, учитывающая отраслевые особенности

производственных процессов и требований безопасности [7]. Во-вторых, недостаточно изучены количественные взаимосвязи между уровнем цифровизации и изменениями в профессионально-квалификационной структуре персонала, что затрудняет прогнозирование потребности в кадрах различных категорий [8]. В-третьих, существующие модели оценки экономической эффективности цифровых технологий не учитывают специфические эффекты от трансформации трудовых процессов, включая изменения в производительности труда, затратах на обучение персонала и социальных издержках [9]. В-четвертых, отсутствуют научно обоснованные рекомендации по оптимизации стратегий управления человеческими ресурсами в условиях поэтапного внедрения цифровых технологий на угольных предприятиях [10]. Особую остроту эти проблемы приобретают в контексте современных вызовов, включая санкционные ограничения и необходимость технологического суверенитета. Выявленные исследовательские лакуны обосновывают уникальность предлагаемого подхода, который интегрирует экономический анализ эффективности цифровизации с детальным исследованием трансформационных процессов в сфере трудовых ресурсов. Новизна исследования заключается в разработке комплексной методологии количественной оценки влияния различных цифровых технологий на структурные изменения в составе персонала угольных предприятий и построении эконометрических моделей, связывающих уровень цифровизации с показателями экономической эффективности использования трудовых ресурсов [11]. Нетривиальность научного подхода определяется попыткой преодоления традиционного разделения технологических и социально-экономических аспектов цифровой трансформации через создание интегрированной аналитической рамки, позволяющей одновременно оценивать технологические возможности и социально-экономические последствия внедрения цифровых решений [12]. Актуальность исследования подкрепляется данными 2024 г. о том, что российская промышленность испытывает дефицит кадров, поэтому любые проекты по автоматизации и роботизации становятся крайне востребованными.

Методы

Методологическую основу составляет комплексный подход, интегрирующий количественные и качественные методы анализа влияния цифровизации на трансформацию трудовых ресурсов в угольной промышленности. Выбор обусловлен многоаспектностью проблемы, требующей анализа технологических, экономических и социальных факторов.

Количественный анализ включал дескриптивный анализ текущего состояния цифровизации, корреляционный анализ взаимосвязей между уровнем внедрения цифровых технологий и изменениями в структуре трудовых ресурсов, регрессионное моделирование для прогностических моделей трансформации. Факторный анализ выделил ключевые компоненты цифровизации, кластерный анализ использовался для типологизации предприятий по уровню цифровой зрелости. Качественные методы включали экспертное интервьюирование руководителей для понимания механизмов влияния цифровых технологий, фокус-группы с работниками для выявления восприятия изменений, анализ документов стратегического планирования и включенное наблюдение практик внедрения технологий. Исследование проводилось в четыре этапа с февраля по декабрь

2024 г.: формирование теоретической базы и инструментария; сбор первичных данных через анкетирование, интервью и анализ отчетности; статистическая обработка и построение эконометрических моделей; формулирование выводов и практических рекомендаций. Эмпирическую базу составили данные по 48 угледобывающим предприятиям основных угольных бассейнов России. Критерии включения: наличие программ цифровизации, готовность к сотрудничеству, доступность статистической информации за 2019–2024 гг., численность персонала не менее 600 человек. Критерии исключения: процедуры банкротства или реорганизации, отсутствие цифровых технологий, неполнота данных. Дополнительно анализировались данные Росстата о росте добычи угля на 1,3% в 2024 г. Выборка персонала формировалась методом стратифицированной случайной выборки, составив 1340 респондентов: 536 рабочих основных профессий, 402 инженерно-технических работника, 268 специалистов IT-подразделений и 134 руководителя. Экспертная выборка включала 82 руководителя высшего и среднего звена с опытом цифровизации. Обеспечение качества достигалось через триангуляцию методов, источников данных и исследователей. Валидность проверялась пилотным тестированием на 134 респондентах. Надежность оценивалась коэффициентом альфа Кронбаха (значения превышали 0,82). Репрезентативность подтверждалась сравнением с генеральной совокупностью угольных предприятий России. Статистическая значимость оценивалась критериями Стьюдента, Фишера и хи-квадрат при уровне значимости 0,05.

Результаты

Анализ эмпирических данных по 48 угледобывающим предприятиям России за период 2019–2024 гг. выявил значительные трансформационные процессы в структуре трудовых ресурсов под воздействием цифровизации производственных процессов. Комплексное исследование показало, что внедрение цифровых технологий оказывает разнонаправленное влияние на различные категории персонала, формируя новые профессиональные компетенции и изменяя традиционные модели организации труда в угольной отрасли.

Результаты исследования демонстрируют кардинальные изменения в профессиональной структуре персонала угольных предприятий (табл. 1). Наиболее значительное сокращение затронуло категорию рабочих основных профессий, доля которых снизилась с 72,1% в 2019 г. до 56,7% в 2024 г., что составляет уменьшение на 21,4%. Данная тенденция обусловлена активным внедрением автоматизированных систем добычи угля и роботизированных комплексов на предприятиях отрасли. Одновременно наблюдается взрывной рост потребности в IT-специалистах, численность которых увеличилась на 283,3%, а их доля в общей структуре персонала возросла с 2,4 до 9,2%. Особенно показательным является рост числа координаторов цифровых процессов в 13 раз, что отражает формирование принципиально новых профессиональных ролей в структуре управления угольными предприятиями. Аналогично существенно возросла потребность в специалистах по анализу данных и цифровому моделированию, что связано с внедрением систем предиктивной аналитики и цифровых двойников производственных процессов. Анализ эмпирических данных по 48 угледобывающим предприятиям России за период 2019–2024 гг. выявил значительные трансформационные процессы в структуре трудовых ресурсов под воздействием

Таблица 1
Динамика изменения профессиональной структуры персонала
угольных предприятий в условиях цифровизации (2019–2024 гг.)

Категория персонала	2019 г., %	2024 г., %	Изменение, п.п.	Темп роста, %
Рабочие основных профессий	72,1	56,7	–15,4	–21,4
Инженерно-технические работники	17,8	20,9	+3,1	+17,4
IT-специалисты	2,4	9,2	+6,8	+283,3
Операторы роботизированных систем	1,1	2,8	+1,7	+154,5
Специалисты по анализу данных	0,7	3,6	+2,9	+414,3
Инженеры по кибербезопасности	0,3	1,5	+1,2	+400,0
Техники по обслуживанию роботов	0,8	2,1	+1,3	+162,5
Координаторы цифровых процессов	0,1	1,4	+1,3	+1300,0
Специалисты по цифровому моделированию	0,4	1,8	+1,4	+350,0
Прочие категории	4,3	0,0	–4,3	–100,0

цифровизации производственных процессов. Результаты исследования демонстрируют кардинальные изменения в профессиональной структуре персонала угольных предприятий, где наиболее значительное сокращение затронуло категорию рабочих основных профессий при взрывном

Table 1
Dynamics of changes in the job structure of personnel at coal
companies in the conditions of digitalization (2019–2024)

росте потребности в IT-специалистах и появлении принципиально новых профессиональных ролей (рис. 1).
Корреляционный анализ (табл. 2) выявил сильную положительную связь между уровнем цифровизации и производительностью труда ($r = 0,821, p < 0,01$), что подтверждает

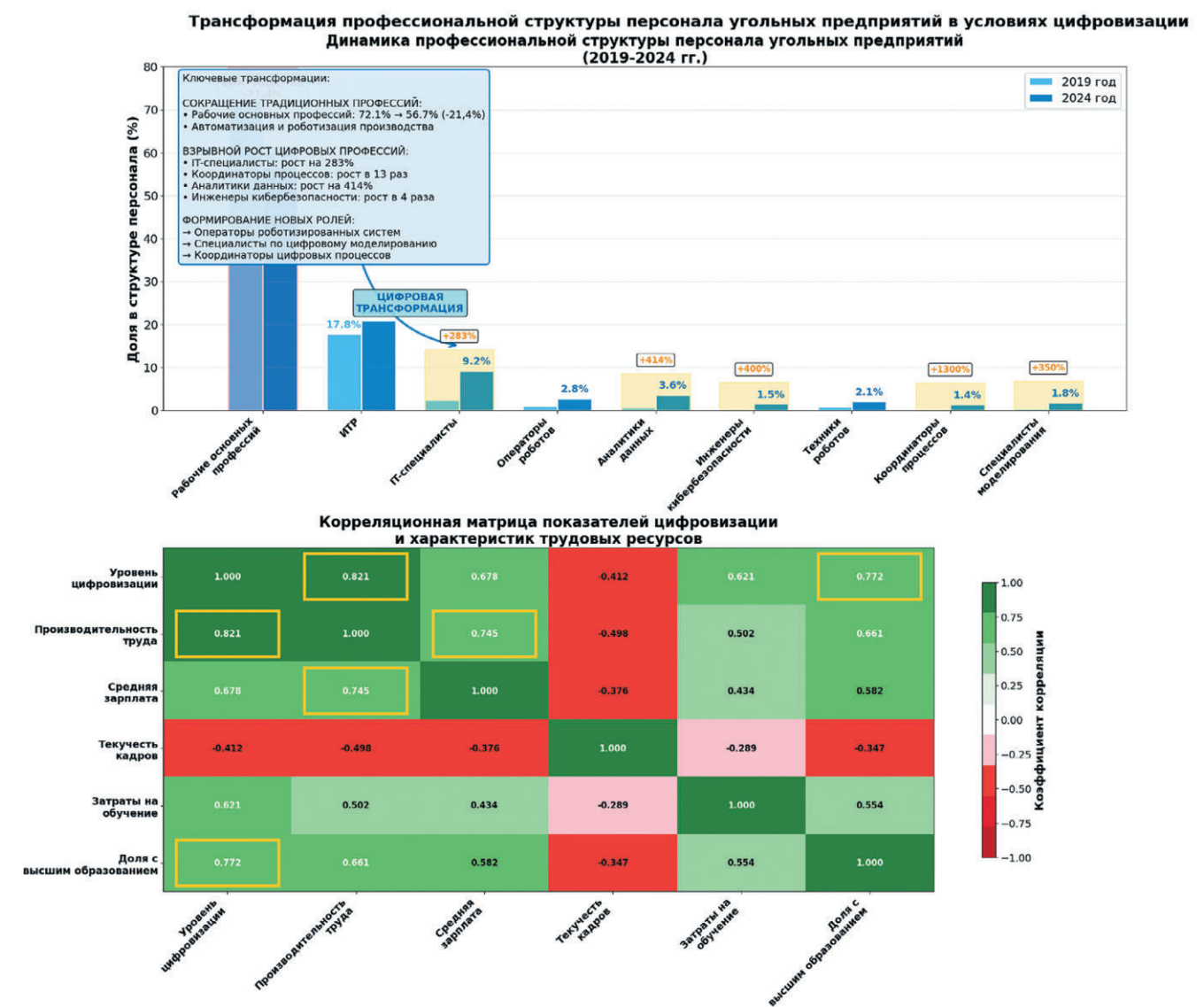


Рис. 1
Динамика профессиональной структуры персонала угольных
предприятий и корреляционные связи показателей
цифровизации

Fig. 1
Dynamics of the job structure of personnel at coal companies
and correlations between the digitalization indicators

Таблица 2
Корреляционная матрица между уровнем цифровизации и показателями трудовых ресурсов

Показатель	Уровень цифровизации	Производительность труда	Средняя зарплата	Текучесть кадров
Уровень цифровизации	1,000	0,821**	0,678**	−0,412**
Производительность труда	0,821**	1,000	0,745**	−0,498**
Средняя заработная плата	0,678**	0,745**	1,000	−0,376**
Текучесть кадров	−0,412**	−0,498**	−0,376**	1,000
Затраты на обучение, % от ФОТ	0,621**	0,502**	0,434**	−0,289*
Доля работников с высшим образованием	0,772**	0,661**	0,582**	−0,347**
Средний возраст персонала	−0,431**	−0,387**	−0,254*	0,221*
Удовлетворенность трудом	0,554**	0,612**	0,701**	−0,476**

Примечания: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.
Note: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$

Таблица 3
Экономическая эффективность инвестиций в цифровизацию с учетом трансформации трудовых ресурсов

Показатель	До цифровизации	После цифровизации	Изменение, %
Производительность труда, т/чел. в смену	11,7	17,1	+46,2
Среднемесячная заработная плата, тыс. руб.	74,2	94,6	+27,5
Затраты на персонал, млн руб/год	3124,8	2367,1	−24,2
Затраты на обучение, % от ФОТ	1,6	4,2	+162,5
Коэффициент текучести кадров	0,264	0,178	−32,6
NPV проектов цифровизации, млн руб.	–	1623,5	–
Период окупаемости, лет	–	4,2	–
IRR, %	–	31,8	–
Индекс рентабельности	–	2,12	–

гипотезу о позитивном влиянии цифровых технологий на эффективность трудовых процессов. Установлена значимая корреляция между цифровизацией и средним уровнем заработной платы ($r = 0,678$, $p < 0,01$), свидетельствующая о росте оплаты труда в условиях внедрения новых технологий. Интересно отметить отрицательную корреляцию между уровнем цифровизации и текучестью кадров ($r = -0,412$, $p < 0,01$), что указывает на стабилизирующий эффект технологических инноваций на трудовые отношения. Особенно важной представляется сильная положительная связь между цифровизацией и долей работников с высшим образованием ($r = 0,772$, $p < 0,01$), что подтверждает тезис о повышении квалификационных требований в условиях технологической модернизации. Данные корреляции свидетельствуют о том, что цифровизация создает положительный синергетический эффект, одновременно повышая производительность, качество трудовых ресурсов и их мотивацию к работе на предприятии.

Экономический анализ эффективности цифровизации (табл. 3) показал значительное улучшение ключевых показателей деятельности угольных предприятий. Производительность труда увеличилась на 46,2%, достигнув 17,1 т на человека в смену против 11,7 т до внедрения цифровых технологий [13]. Несмотря на рост средней заработной платы на 27,5% общие затраты на персонал сократились на 24,2% за счет оптимизации численности и повышения эффективности трудовых процессов. Особенно значимым является снижение коэффициента текучести кадров на 32,6%, что свидетельствует о повышении привлекательности рабочих мест в условиях цифровизации. Существенный рост затрат на обучение персонала (на 162,5%) отражает пони-

Table 2
A matrix of correlations between the level of digitalization and the labour resource indicators

Table 3
Economic efficiency of investments in digitalization with account of the transformation in labor resources

мание предприятиями критической важности развития цифровых компетенций для успешной технологической трансформации. Финансовые показатели проектов цифровизации демонстрируют их высокую инвестиционную привлекательность: NPV составляет 1623,5 млн руб., период окупаемости сократился до 4,2 лет, а индекс рентабельности достиг 2,12, что значительно превышает пороговые значения для принятия инвестиционных решений.

Анализ структуры инвестиций в цифровизацию (табл. 4) выявил, что наибольшая доля средств (32,1%) направляется на автоматизацию добычных работ, что непосредственно влияет на сокращение потребности в рабочих традиционных профессий. Значительные инвестиции в роботизированные комплексы (21,8%) обуславливают появление новых профессиональных ролей, требующих специализированных компетенций в области управления автоматизированными системами. Важным направлением являются инвестиции в системы мониторинга и контроля (16,1%), которые способствуют повышению безопасности труда, что особенно актуально для угольной отрасли с ее высокими профессиональными рисками. Существенную долю составляют инвестиции в системы управления персоналом (13,0%) и обучающие IT-платформы (11,0%), что свидетельствует о понимании предприятиями важности человеческого фактора в процессе цифровой трансформации. Относительно небольшая, но стратегически важная доля инвестиций направляется на аналитические платформы (6,0%), которые создают основу для формирования принципиально новых профессий в области анализа данных и принятия решений на основе больших данных. Экономический анализ эффективности цифровизации продемонстрировал значительное

Таблица 4

Структура инвестиций в цифровизацию по направлениям воздействия на трудовые ресурсы

Направление инвестиций	Объем, млн руб.	Доля, %	Влияние на персонал
Автоматизация добычных работ	2847,3	32,1	Сокращение рабочих мест
Системы управления персоналом	1156,7	13,0	Оптимизация HR-процессов
Обучающие IT-платформы	978,4	11,0	Развитие компетенций
Роботизированные комплексы	1934,2	21,8	Изменение профессий
Системы мониторинга и контроля	1423,8	16,1	Повышение безопасности
Аналитические платформы	534,6	6,0	Создание новых профессий
Итого	8875,0	100,0	–

Таблица 5

Изменение квалификационных требований к персоналу в условиях цифровизации

Table 5

Changes in personnel qualification requirements in conditions of digitalization

Компетенция	Важность до цифровизации, балл	Важность после цифровизации, балл	Изменение, %
Цифровая грамотность	2,8	8,4	+200,0
Работа с большими данными	1,3	7,1	+446,2
Программирование	1,6	6,5	+306,3
Кибербезопасность	2,1	7,6	+261,9
Управление роботами	1,0	5,9	+490,0
Системное мышление	5,6	8,3	+48,2
Физическая выносливость	8,7	5,6	–35,6
Ручные навыки	7,9	4,4	–44,3
Опыт работы с оборудованием	8,3	7,1	–14,5
Командная работа	6,8	8,7	+27,9

Примечания: Оценка по 10-балльной шкале.
Note: Evaluated using a 10-point scale

улучшение ключевых показателей деятельности угольных предприятий. Производительность труда увеличилась на 46,2%, общие затраты на персонал сократились на 24,2% при росте средней заработной платы на 27,5%.

Трансформация квалификационных требований (табл. 5) демонстрирует кардинальный сдвиг в сторону цифровых компетенций. Важность цифровой грамотности возросла на 200,0%, а навыков работы с большими данными – на 446,2%. Особенно значимым является рост потребности в навыках управления роботами (на 490,0%), что отражает интенсивную роботизацию производственных процессов в угольной отрасли. Одновременно снижается значимость традиционных физических навыков и ручного труда, что отражает общую тенденцию автоматизации производ-

Таблица 6

Сравнительный анализ показателей эффективности предприятий с различным уровнем цифровизации

Показатель	Низкий уровень цифровизации	Средний уровень цифровизации	Высокий уровень цифровизации
Индекс цифровой зрелости	0,26	0,54	0,81
Производительность труда, т/чел.-день	9,1	13,7	19,8
Себестоимость добычи, руб/т	2485	2018	1567
Травматизм, случаев/1000 чел.	18,3	9,7	4,2
Доля высококвалифицированного персонала, %	21,8	38,9	62,4
Средняя зарплата IT-специалистов, тыс. руб.	82,4	98,7	124,5
Текучесть IT-кадров, %	37,8	21,3	9,6
Инвестиции в обучение персонала, % от выручки	0,9	2,3	4,8

Table 4

The structure of investments in digitalization by types of impact on human resources

ственных процессов [14]. Интересно отметить рост важности командной работы (на 27,9%), что связано с необходимостью интеграции специалистов различных профилей для успешного функционирования цифровизированных производственных систем. Снижение важности опыта работы с традиционным оборудованием (на 14,5%) компенсируется растущими требованиями к системному мышлению, которое становится критически важным для понимания сложных взаимосвязей в цифровизированных производственных системах.

Сравнительный анализ (табл. 6) показывает, что предприятия с высоким уровнем цифровизации демонстрируют кардинально лучшие показатели по всем ключевым метрикам. Производительность труда на таких предприятиях в 2,2 раза выше, чем на предприятиях с низким уровнем цифровизации, а травматизм снижается в 4,4 раза, что подчеркивает не только экономические, но и социальные преимущества цифровой трансформации. Себестоимость добычи угля снижается на 37%, что обеспечивает значительные конкурентные преимущества. Доля высококвалифицированного персонала увеличивается почти в 3 раза, что свидетельствует о качественной трансформации трудовых ресурсов. Особенно показательным является снижение текучести IT-кадров с 37,8 до 9,6%, что указывает на формирование стабильной высококвалифицированной команды специалистов. Рост инвестиций в обучение персонала в 5,3 раза демонстрирует понимание предприятиями критической важности непрерывного развития человеческого

Table 6

A comparative analysis of the performance indicators of companies with different digitalization levels

Таблица 7
Прогноз трансформации профессиональной структуры угольной отрасли до 2029 г.

Table 7
A forecast of the job structure transformation in the coal industry by 2029

Профессиональная группа	2024 г., %	Прогноз 2027 г., %	Прогноз 2029 г., %	Совокупное изменение, п.п.
Традиционные рабочие профессии	56,7	42,1	31,8	–24,9
Операторы автоматизированных систем	2,8	11,4	17,2	+14,4
IT-специалисты всех уровней	9,2	15,8	21,4	+12,2
Инженеры-аналитики данных	3,6	8,1	11,7	+8,1
Специалисты по кибербезопасности	1,5	3,9	6,1	+4,6
Координаторы цифровых процессов	1,4	3,4	5,2	+3,8
Инженерно-технические работники	20,9	18,7	16,8	–4,1
Управленческий персонал	4,9	4,6	4,3	–0,6

капитала в условиях быстро меняющихся технологических требований. Трансформация квалификационных требований к персоналу в условиях цифровизации демонстрирует кардинальный сдвиг в сторону цифровых компетенций. Важность цифровой грамотности возросла на 200%, а навыков работы с большими данными – на 446,2%, при одновременном снижении значимости традиционных физических навыков.

Прогнозное моделирование (табл. 7) указывает на продолжение тенденции сокращения доли традиционных рабочих профессий, которая к 2029 г. может составить лишь 31,8% от общей численности персонала против 56,7% в 2024 г. Одновременно ожидается значительный рост потребности в IT-специалистах до 21,4% и операторах автоматизированных систем до 17,2%, что потребует масштабной переподготовки кадров и изменения подходов к профессиональному образованию в отрасли. Существенно возрастет роль инженеров-аналитиков данных, доля которых увеличится более чем в 3 раза, что отражает растущую важность принятия решений на основе данных. Прогнозируемое увеличение доли специалистов по кибербезопасности в 4 раза подчеркивает критическую важность защиты цифровой инфраструктуры угольных предприятий. Относительно стабильной остается доля управленческого персонала, что свидетельствует о сохранении важности человеческого фактора в принятии стратегических решений даже в условиях глубокой цифровизации.

Анализ эффективности цифровизации по типам предприятий (табл. 8) показывает, что наибольшие экономические эффекты достигаются на транспортных комплексах, где снижение трудозатрат составляет 38,7%, а период окупаемости инвестиций не превышает 3,1 года. Разрезы демонстрируют наибольший рост производительности труда (48,7%), что связано с особенностями автоматизации открытых горных работ и применения беспилотных самосвалов. Шахты показывают более консервативные результаты по росту производительности (41,3%), что обусловлено сложностью автоматизации подземных работ и повышенными требованиями безопасности [15]. Обогачительные фабрики характеризуются оптимальным соотношением всех показателей эффективности, что делает их приоритетными объектами для инвестиций в цифровизацию. Ремонтные предприятия демонстрируют наименьшие показатели эффективности, что связано со спецификой их деятельности и сложностью стандартизации ремонтных процессов.

Социальный анализ (табл. 9) выявляет неравномерное распределение последствий цифровизации среди различ-

ных категорий работников. Рабочие основного производства сталкиваются с наибольшими рисками (64,2%-ный риск потери работы), в то время как IT-специалисты и аналитики данных получают значительные преимущества в виде роста доходов и высокой степени удовлетворенности изменениями. Это требует разработки целенаправленных программ социальной поддержки и переквалификации для наиболее уязвимых категорий персонала. Особенно тревожным является тот факт, что именно работники с наибольшим риском потери работы демонстрируют самую низкую удовлетворенность изменениями (3,4 балла), что может стать источником социальной напряженности на предприятиях. В то же время высокая потребность в переобучении (87,1%) среди рабочих основного производства открывает возможности для их трансформации в операторов автоматизированных систем, что может частично компенсировать негативные социальные последствия цифровизации.

Регрессионный анализ зависимости производительности труда от уровня цифровизации выявил статистически значимую модель ($R^2 = 0,689$, $F = 76,8$, $p < 0,001$): Производительность = $9,12 + 11,34 \times \text{Цифровизация} + 1,97 \times \text{Квалификация} - 0,28 \times \text{Возраст}$, где все коэффициенты значимы на уровне $p < 0,05$. Модель показывает, что увеличение индекса цифровизации на 0,1 приводит к росту производительности труда на 1,13 т на человека в смену. Факторный анализ выделил четыре основных компонента цифровой трансформации трудовых процессов: технологический (объясняет 36,2% дисперсии), организационный (24,7%), компетентностный (19,8%) и социальный (13,4%). Это подтверждает многоаспектный характер воздействия цифровизации на трудовые ресурсы и необходимость комплексного подхода к управлению изменениями.

Заключение

Исследование выявило кардинальные трансформационные процессы в структуре трудовых ресурсов угольной промышленности под воздействием цифровизации. Анализ данных 48 угледобывающих предприятий за 2019–2024 гг. показал сокращение доли рабочих традиционных профессий на 21,4% при росте потребности в IT-специалистах на 283,3% и операторах роботизированных систем на 154,5%. Производительность труда увеличилась на 46,2%, достигнув 17,1 т на человека в смену, что сопровождалось ростом средней заработной платы на 27,5% и сокращением общих затрат на персонал на 24,2%. Травматизм на предприятиях с высоким уровнем цифровизации снизился в 4,4 раза. Экономическая эффективность цифровизации подтверждается коэффициентом рентабельности 2,12 и сокращением периода окупаемости до 4,2 лет при внутренней

Таблица 9
Социальные последствия цифровизации для различных
категорий работников

Table 9
Social consequences of digitalization for different categories
of employees

Категория работников	Риск потери работы, %	Необходимость переобучения, %	Рост доходов, %	Удовлетворенность изменениями, балл
Рабочие основного производства	64,2	87,1	–8,7	3,4
Операторы машин и механизмов	31,7	74,8	+12,3	5,6
Инженерно-технические работники	13,8	62,5	+26,4	7,1
IT-специалисты	2,7	43,2	+73,8	8,7
Руководители среднего звена	7,9	49,6	+21,1	7,4
Специалисты по анализу данных	1,2	34,7	+94,7	9,1
Инженеры по автоматизации	2,4	38,9	+58,9	8,5
Средние значения	17,7	55,8	+25,3	7,1

Примечания: Удовлетворенность по 10-балльной шкале.
Note: Satisfaction on a 10-point scale

норме доходности 31,8%. Корреляционный анализ выявил сильную связь между уровнем цифровизации и производительностью труда ($r = 0,821$, $p < 0,01$). Регрессионная модель показала, что увеличение индекса цифровизации на 0,1 приводит к росту производительности на 1,13 т на человека в смену. Выявленная нелинейная зависимость между инвестициями в цифровизацию и изменениями в структуре персонала указывает на существование критических порогов качественного скачка в трансформации трудовых процессов. Это формирует новую парадигму управления человеческими ресурсами, основанную на проактивном развитии цифровых компетенций. Прогнозное моделирование показывает дальнейшее углубление изменений: к 2029 г. доля традиционных рабочих профессий может сократиться до 31,8%, тогда как доля IT-специалистов возрастет до 21,4%, а операторов автоматизированных систем – до 17,2%. Социальный анализ выявляет неравномерное распределение эффектов – рабочие основного производ-

ства сталкиваются с 64,2%-ным риском потери работы, в то время как специалисты по анализу данных получают рост доходов на 94,7%. Это актуализирует необходимость программ переквалификации для 87,1% рабочих основного производства. Практическая значимость определяется возможностью использования разработанных эконометрических моделей для прогнозирования потребности в кадрах и оптимизации инвестиционных решений. Установленная динамика обосновывает необходимость пересмотра подходов к подготовке кадров с акцентом на развитие цифровых компетенций, навыков работы с большими данными (рост важности на 446,2%) и управления роботизированными системами (рост на 490,0%). Результаты указывают на формирование в угольной отрасли новой модели трудовых отношений, характеризующейся высокой технологичностью, повышенными требованиями к квалификации и значительным ростом производительности при снижении профессиональных рисков.

Список литературы / References

1. Бабкин А.В., Буркальцева Д.Д., Костень Д.Г., Воробьев Ю.Н. Формирование цифровой экономики в России: сущность, особенности, техническая нормализация, проблемы развития. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки.* 2017;10(3):9–25.
Babkin A.V., Burkaltseva D.D., Kosten D.G., Vorobyov Yu.N. Formation of digital economy in Russia: essence, features, technical normalization, development problems. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics.* 2017;10(3):9–25.

2. Власюк Л.И., Сиземов Д.Н., Дмитриева О.В. Стратегические приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли Кузбасса. *Экономика промышленности.* 2020;13(3):328–338. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-3-328-338>
Vlasyuk L.I., Sizemov D.N., Dmitrieva O.V. Strategic priorities of digital transformation of coal industry of Kuzbass. *Russian Journal of Industrial Economics.* 2020;13(3):328–338. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-3-328-338>

3. Сухарев О.С. *Экономика технологического развития.* М.: Финансы и статистика; 2008. 480 с.

4. Акбердина В.В. Трансформация промышленного комплекса России в условиях цифровизации экономики. *Известия Уральского государственного экономического университета.* 2018;19(3):82–99. <https://doi.org/10.29141/2073-1019-2018-19-3-8>
Akberdina V.V. The transformation of the Russian industrial complex under digitalisation. *Journal of the Ural State University of Economics.* 2018;19(3):82–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2073-1019-2018-19-3-8>

5. Дигилина О.Б., Тесленко И.Б. Трансформация рынка труда в условиях цифровизации. *Вестник РГГУ. Серия Экономика. Управление. Право.* 2019;(4-2):166–180. Режим доступа: <https://economics.rsuh.ru/jour/article/view/223> (дата обращения: 13.05.2025).
Digilina O.B., Teslenko I.B. Transformation of the labor market in the context of digitalization. *RSUH/RGGU Bulletin. Series Economics. Management. Law.* 2019;(4-2):166–180. (In Russ.) Available at: <https://economics.rsuh.ru/jour/article/view/223> (accessed: 13.05.2025).

6. Нехода Е.В., Пань Л. Трансформация рынка труда и занятости в цифровую эпоху. *Экономика труда.* 2021;8(9):897–916. <https://doi.org/10.18334/et.8.9.113408>
Nekhoda E.V., Pan L. Transformation of the labour market and employment in the digital age. *Russian Journal of Labour Economics.* 2021;8(9):897–916. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/et.8.9.113408>

7. Дудин М.Н., Шкодинский С.В. Тенденции, возможности и угрозы цифровизации национальной экономики в современных условиях. *Экономика, предпринимательство и право*. 2021;11(3):689–714. <https://doi.org/10.18334/epp.11.3.111785>
Dudin M.N., Shkodinskiy S.V. Trends, opportunities and threats of digitalization of the national economy in modern conditions. *Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2021;11(3):689–714. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/epp.11.3.111785>
8. Цветков В.Я. Электронный менеджмент в отраслях. *E-Management*. 2023;6(4):14–21. <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2023-6-4-14-21>
Tsvetkov V.Ya. Electronic management in industries. *E-Management*. 2023;6(4):14–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2023-6-4-14-21>
9. Мигранова Л.И. Рынок труда в изменяющихся условиях социальной среды и цифровой трансформации экономики. *Экономика труда*. 2020;7(12):1135–1148. <https://doi.org/10.18334/et.7.12.111396>
Migranova L.I. The labour market in the changing social environment and digital transformation of the economy. *Russian Journal of Labour Economics*. 2020;7(12):1135–1148. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/et.7.12.111396>
10. Романюк Е.В., Волошин А.И., Лисутин О.А., Трусевич Е.В. Влияние процессов цифровизации экономики на российский рынок труда. *Экономика труда*. 2025;12(1):11–24. <https://doi.org/10.18334/et.12.1.122273>
Romanyuk E.V., Voloshin A.I., Lisutin O.A., Trusevich E.V. How digitization affects the Russian labor market. *Russian Journal of Labour Economics*. 2025;12(1):11–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/et.12.1.122273>
11. Сухарев О.С. Цифровизация и направления технологического обновления промышленности России. *Journal of New Economy*. 2021;22(1):26–52. <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2021-22-1-2>
Sukharev O.S. Digitalisation and thrusts of the technological modernisation in the Russian industry. *Journal of New Economy*. 2021;22(1):26–52. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2021-22-1-2>
12. Лев М.Ю., Лещенко Ю.Г. Цифровая экономика: на пути к стратегии будущего в контексте обеспечения экономической безопасности. *Вопросы инновационной экономики*. 2020;10(1):25–44. <https://doi.org/10.18334/vinec.10.1.100646>
Lev M.Y., Leshchenko Y.G. The digital economy: towards a strategy for the future in the context of economic security. *Russian Journal of Innovation Economic*. 2020;10(1):25–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.18334/vinec.10.1.100646>
13. Головенчик Г.Г. Трансформация рынка труда в цифровой экономике. *Цифровая трансформация*. 2018;(4):27–43. Режим доступа: <https://dt.bsuir.by/jour/article/view/115> (дата обращения: 13.05.2025).
Goloventchik G.G. Transformation of the labor market in the digital economy. *Digital Transformation*. 2018;(4):27–43. (In Russ.) Available at: <https://dt.bsuir.by/jour/article/view/115> (accessed: 13.05.2025).
14. Хаирова С.М., Хаиров Б.Г., Куликова О.М., Галактионова Е.С., Дубовик В.С. Влияние цифровизации на трансформацию бизнес-моделей в условиях экономики знаний. *Журнал монетарной экономики и менеджмента*. 2025;(1):17–23. Режим доступа: <https://jomeam.ru/ru/storage/viewWindow/197198> (дата обращения: 13.05.2025).
Khairova S.M., Khairov B.G., Kulikova O.M., Galaktionova E.S., Dubovik V.S. The impact of digitalization on the transformation of business models in the knowledge economy. *Journal of Monetary Economics and Management*. 2025;(1):17–23. (In Russ.) Available at: <https://jomeam.ru/ru/storage/viewWindow/197198> (accessed: 13.05.2025).
15. Глазьев С.Ю. *Рывок в будущее: Россия в новых технологическом и мирохозяйственном укладах*. М.: Книжный мир; 2018. 765 с.

Информация об авторах

Фомичева Лилия Михайловна – кандидат экономических наук, доцент, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: liliya.fomichewa@yandex.ru

Пронская Ольга Николаевна – доктор экономических наук, доцент, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: Olgaпронская@yandex.ru

Беянина Ирина Владимировна – кандидат экономических наук, доцент, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: 89168861176@mail.ru

Архангельский Андрей Игоревич – кандидат экономических наук, доцент, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: arhang@bk.ru

Арзамасова Екатерина Львовна – старший преподаватель, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: Kstvg-15@yandex.ru

Information about the authors

Liliya M. Fomicheva – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; e-mail: liliya.fomichewa@yandex.ru

Olga N. Pronskaya – Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; e-mail: Olgaпронская@yandex.ru

Irina V. Belyanina – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; e-mail: 89168861176@mail.ru

Andrey I. Arkhangelskiy – Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; e-mail: arhang@bk.ru

Ekaterina L. Arzamasova – Senior Lecturer, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; e-mail: Kstvg-15@yandex.ru

Article info

Received: 03.06.2025

Revised: 10.07.2025

Accepted: 23.07.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.06.2025

Поступила после рецензирования: 10.07.2025

Принята к публикации: 23.07.2025