

УДК 69.05 : 004 ББК 38.7 + 65.24

Чижов Сергей Владимирович, к.т.н., заведующий кафедрой «Мосты»,
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора
Александра I, г. Санкт-Петербург

Создательев Михаил Алексеевич, студент факультета «Транспортное
строительство», Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург

**КАДРОВЫЕ БАРЬЕРЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ В
ИНФРАСТРУКТУРНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСТОВ:
КОГНИТИВНАЯ ПЕРЕГРУЗКА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
ПЕРСОНАЛА И КОНЦЕПЦИЯ «ZERO-UI»**

Аннотация. В статье исследуется фундаментальная проблема цифровизации инфраструктурного строительства — отторжение инновационных ИТ-инструментов линейным персоналом из-за транзакционной перегрузки. Предметом исследования выступают модели преодоления кадрового барьера. В ходе анализа выявлена ограниченная применимость западной («программной») и восточной («аппаратной») парадигм в реалиях РФ из-за демографических и инфраструктурных барьеров. Обосновывается целесообразность перехода к гибридному подходу («невидимая автоматизация»). Определено, что симбиоз пассивного сбора данных через штатную бортовую телеметрию машин, IoT-датчики мониторинга мостовых конструкций и технологии семантического распознавания речи (NLP) позволяет минимизировать когнитивную нагрузку на персонал.

Abstract. The article investigates the fundamental problem of digitalization

in infrastructure construction — the rejection of innovative IT tools by line personnel due to transactional overload. The subject of the research is models for overcoming the personnel barrier. The analysis reveals the limited applicability of the Western ("software") and Eastern ("hardware") paradigms in the realities of the Russian Federation due to demographic and infrastructure barriers. The expediency of transitioning to a hybrid approach ("invisible automation") is substantiated. It is determined that the symbiosis of passive data collection through standard on-board machinery telemetry, IoT sensors for monitoring bridge structures, and semantic speech recognition technologies (NLP) allows for minimizing the cognitive load on personnel.

Ключевые слова: цифровизация строительства, когнитивная перегрузка, линейный персонал, инфраструктурные проекты, мостостроение, интернет вещей (IoT), информационное моделирование, Zero-UI.

Keywords: digitalization of construction, cognitive overload, line personnel, infrastructure projects, bridge construction, Internet of Things (IoT), information modeling, Zero-UI.

Введение. В период с 2021 по 2026 год глобальная строительная индустрия вступила в фазу форсированной технологической трансформации. Внедрение технологий информационного моделирования (BIM), облачных сред общих данных (CDE) и концепции «цифровых двойников» концептуально переопределило подходы к координации строительных процессов. Индексы цифровизации в Российской Федерации, в частности при модернизации объектов транспортной инфраструктуры (Восточный полигон, внекласные мостовые переходы), демонстрируют поступательную динамику [1, 3]. Тем не менее, макроэкономические показатели эффективности инфраструктурных мегапроектов часто демонстрируют стагнацию.

Проблема. Основным узким местом выступает проблема адаптации к новым технологиям на уровне линейного инженерно-технического персонала (ИТР) — прорабов и мастеров. Опыт пилотных внедрений показывает, что попытка прямого переноса цифровых инструментов на строительную площадку наталкивается на фундаментальные эргономические ограничения. Линейный персонал, работающий в условиях жесткой многозадачности, климатических перепадов и необходимости непрерывного визуального контроля за механизмами, физически не имеет возможности оперативно взаимодействовать с планшетами. Возникает прогнозируемый риск того, что из-за высокой когнитивной нагрузки персонал будет вынужденно минимизировать взаимодействие с мобильными приложениями. В масштабах крупных проектов это грозит несвоевременным вводом данных, искажением отчетности и утратой доверия к ИТ-продуктам. Цель исследования — проанализировать анатомию данного кадрового барьера и предложить жизнеспособную стратегию его преодоления с учетом инфраструктурных реалий РФ.

Обзор литературы. Вопросы влияния цифровизации на кадровый потенциал строительной отрасли поднимались в трудах отечественных исследователей, отмечающих необходимость пересмотра подходов к управлению ресурсами в связи с появлением новых ИТ-инструментов [6]. Исследуются тенденции кадрового обеспечения и проблемы внедрения новых технологий [2]. Зарубежные авторы доказывают прямую связь между когнитивной дистракцией (отвлечением на цифровые интерфейсы) и снижением производственной безопасности. Проблемы внедрения цифровых двойников и барьеры сопротивления персонала подробно рассмотрены в ряде актуальных работ [7, 11]. Особенности применения технологий IoT для мониторинга мостовых сооружений изучались в трудах Баранова А. С.,

Сластина С. В. и других авторов [4, 8].

Материалы и методы. В основе исследования лежит системный подход, при котором строительная площадка рассматривается как сложная киберфизическая система, интегрирующая физические процессы возведения объектов и цифровые алгоритмы управления в единый информационный контур посредством сетей датчиков (IoT) и периферийных вычислений. Наряду с этим задействованы методы сравнительного анализа для оценки применимости глобальных парадигм цифровизации в специфических условиях отечественного мостостроения. Проанализированы текущие практики использования мобильных клиентов сред общих данных (CDE) и систем планирования ресурсов предприятия (ERP) на крупных инфраструктурных объектах.

Ключевым методологическим вектором стала адаптация теории когнитивной нагрузки к полевым условиям строительного производства. В рамках данного подхода исследовано влияние экстрактивной (навязанной цифровым интерфейсом) нагрузки на способность линейного ИТР принимать оперативные решения при координации строительной техники и контроле качества работ. Оценка перспективных аппаратно-программных решений базировалась на анализе функционала систем интернета вещей (IoT) для асинхронного сбора телеметрии, беспилотных авиационных систем (БПЛА) для объективного пространственного контроля и методов обработки естественного языка (NLP). Основным критерием эффективности рассматриваемых технологий выступал их потенциал к минимизации транзакционных издержек пользователя при сохранении стабильной работы в условиях нестабильного или отсутствующего интернет-соединения.

Результаты. Сложности адаптации линейного персонала к цифровым инструментам обусловлены не "технологической неграмотности" строителей,

а феноменом когнитивной перегрузки. Деятельность прораба (координация механизмов, контроль техники безопасности) формирует колоссальную внутреннюю когнитивную нагрузку. Внедрение мобильных систем (ERP, CDE), требующих ручного ввода статусов в агрессивной среде стройплощадки, генерирует избыточную экстрактивную нагрузку — «налог на данные» [5].

Глобальный ландшафт индустрии сформировал два полярных подхода к решению этой проблемы: западную («программную») и восточную («аппаратную») модели. Западный подход сфокусирован на разработке сложного программного обеспечения и базируется на иллюзии, что линейных строителей можно массово переобучить в уверенных пользователей ИТ-систем [11]. Однако с учетом высокой динамики рынка труда и объективного уровня ротации кадров среди линейного ИТР [6], инвестиции в такое обучение часто оказываются экономически нецелесообразными. Кроме того, архитектура западного ПО не адаптирована под отечественные условия стройки: работа на морозе, нестабильный интернет делают навигацию крайне затруднительной.

Альтернативная восточная модель делает ставку на тотальный аппаратный диктат: частные высокоскоростные сети 5G, умную электронику и значительное количество дронов [7]. Цель — минимизировать зависимость от человека. Однако экстраполяция этой модели на реалии инфраструктурного строительства в РФ (например, возведение мостов в отдаленных районах [1]) экономически несостоятельна. Развертывание сплошных локальных сетей передачи данных на протяженных объектах требует колоссальных капитальных затрат, делая проект заведомо убыточным.

В качестве результативного решения для отечественного рынка обоснован гибридный подход — концепция «невидимой автоматизации»

(Zero-UI). Данная стратегия строится на принципе радикального снижения транзакционных издержек: технологии должны адаптироваться к человеку, а не наоборот.

Интеграция данной концепции особенно актуальна в мостостроении, где цена управленческой ошибки максимальна. Вместо того чтобы перегружать ИТР рутинным заполнением электронных форм оценки качества и деформаций, основой гибридного подхода выступает пассивный сбор данных через асинхронную телеметрию. Внедрение IoT-датчиков и методов резистивной томографии на металлических пролетных строениях мостов [8] позволяет алгоритмам самостоятельно контролировать напряжения и деформации без участия мастера. Системы искусственного интеллекта и интернета вещей берут на себя предиктивный контроль рисков [4], транслируя объективные показатели в 4D BIM-модель.

В условиях отсутствия стабильной связи данные накапливаются локально (Edge Computing) и передаются пакетами [9]. Автоматизация дополняется периодической аэрофотосъемкой с БПЛА, позволяющей сопоставлять облака точек с проектной моделью для верификации объемов работ.

Вторым элементом гибридной модели является использование речевых интерфейсов на базе технологий семантического распознавания (NLP) [10]. Контроль скрытых работ переводится в формат естественного радиообмена. ИТР надиктовывает фразы («Завершен монтаж пролета, деформации в норме»), а интеллектуальный шлюз извлекает проектные сущности и обновляет цифровой двойник, обеспечивая работу со свободными руками и сохраняя концентрацию персонала на вопросах безопасности. Отладкой коллизий в такой системе занимаются удаленные BIM-диспетчеры, что позволяет централизовать ИТ-компетенции.

Выводы. Кадровый барьер цифровизации невозможно преодолеть путем административного принуждения персонала к работе в сложных мобильных интерфейсах. Игнорирование когнитивных ограничений ИТР ведет к саботажу ИТ-решений и росту аварийности на объектах. Прямое копирование западной и восточной парадигм в инфраструктурном строительстве РФ технико-экономически нежизнеспособно. Внедрение гибридной модели (Zero-UI), интегрирующей асинхронный интернет вещей (IoT) на мостовых конструкциях, БПЛА и технологии семантического распознавания речи, является оптимальным путем обеспечения цифровой трансформации. Перенос транзакционной нагрузки с линейного ИТР на автономные системы пассивного сбора данных позволяет нивелировать дефицит цифровых компетенций на стройплощадке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондратова Е. П. Цифровая трансформация транспортной инфраструктуры холдинга «Российские железные дороги» как фактор перспективного пространственного развития Востока России // Проблемы и механизмы пространственного развития регионов России : Тр. Всерос. науч.-практ. конф. Хабаровск, 2025. С. 61-65.
2. Проняева Л. И., Рязанский Д. В. Современные тенденции развития строительной отрасли в России и проблемы в ее кадровом обеспечении // Вестник Академии знаний. 2024. № 6(65). С. 1243-1247.
3. Карпов А. В. Цифровая трансформация и оценка «цифровой зрелости» системы государственного управления субъекта Российской Федерации // Управленческое консультирование. 2022. № 8. С. 34-45.
4. Сластин С. В., Маринин А. Н. Современные подходы к контролю качества работ при строительстве мостов // Вестник евразийской науки.

2025. Т. 17, № 2. С. 1-12.

5. Горлов С. М., Молчанова Р. В. Влияние инновационных технологий на конкурентоспособность предприятий строительной отрасли // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. Т. 14, № 2. С. 194-200.
6. Шевкун Е. В. Современные тенденции повышения качества трудовых ресурсов (на примере строительной отрасли) // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 12, № 12. С. 51-59.
7. Abdullahi A. M., Yamusa M. A., Abdulrahman R. S. [et al.] Exploring the transition from BIM to Digital Twins in construction cost management: a systematic review and machine learning approach // Digital Twin. 2026. Vol. 4. DOI: 10.1080/27525783.2026.2656042.
8. Баранов А. С., Буланкин Н. С., Ерендеева А. Р. [и др.] Способы диагностики деформаций пролетных строений мостов // Известия Уфимского научного центра РАН. 2025. № 3. С. 10-14.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663552 Российская Федерация. Система управления мониторингом строительных работ на объектах, прошедших государственную экспертизу / А. О. Рада, А. Д. Кузнецов, А. М. Снежков [и др.]. 2023.
10. Golparvar-Fard M., Han J. A Novel Framework for Natural Language Interaction with 4D BIM // Buildings. 2024. Vol. 14, № 1. P. 12-25.
11. Бурова О. А. Использование цифровых технологий в строительстве: отечественный и мировой опыт // Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА. 2023. № 2. С. 59-63.

Literature

1. Kondratova E.P. Digital transformation of the transport infrastructure of the Russian Railways holding as a factor in the promising spatial development of

Eastern Russia // Problems and mechanisms of spatial development of Russian regions : Proc. All-Russian scientific-pract. conf. Khabarovsk, 2025. P. 61-65.

2. Pronyaeva L.I., Ryazanskiy D.V. Modern trends in the development of the construction industry in Russia and problems in its staffing // Bulletin of the Academy of Knowledge. 2024. No. 6(65). P. 1243-1247.
3. Karpov A.V. Digital transformation and assessment of the "digital maturity" of the public administration system of a constituent entity of the Russian Federation // Management Consulting. 2022. No. 8. P. 34-45.
4. Slastin S.V., Marinin A.N. Modern approaches to quality control of work in the construction of bridges // Bulletin of Eurasian Science. 2025. Vol. 17, No. 2. P. 1-12.
5. Gorlov S.M., Molchanova R.V. The impact of innovative technologies on the competitiveness of construction industry enterprises // Economics and Management: Problems, Solutions. 2025. Vol. 14, No. 2. P. 194-200.
6. Shevkun E.V. Modern trends in improving the quality of labor resources (on the example of the construction industry) // Economics and Management: Problems, Solutions. 2023. Vol. 12, No. 12. P. 51-59.
7. Abdullahi A.M., Yamusa M.A., Abdulrahman R.S. [et al.] Exploring the transition from BIM to Digital Twins in construction cost management: a systematic review and machine learning approach // Digital Twin. 2026. Vol. 4. DOI: 10.1080/27525783.2026.2656042.
8. Baranov A.S., Bulankin N.S., Erendeeva A.R. [et al.] Methods for diagnosing deformations of bridge spans // Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2025. No. 3. P. 10-14.
9. Certificate of state registration of a computer program No. 2023663552 Russian Federation. Construction works monitoring management system at

facilities that have passed state expertise / A.O. Rada, A.D. Kuznetsov, A.M. Snezhkov [et al.]. 2023.

10. Golparvar-Fard M., Han J. A Novel Framework for Natural Language Interaction with 4D BIM // Buildings. 2024. Vol. 14, No. 1. P. 12-25.
11. Burova O.A. The use of digital technologies in construction: domestic and global experience // Bulletin of the Moscow University of Finance and Law MFUA. 2023. No. 2. P. 59-63.