

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ
НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

На правах рукописи

МЕРЗЛИКИН Никита Георгиевич

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СКВОЗНЫХ
ЦИФРОВЫХ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦЕЛЯХ
ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА НА
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Специальность 5.2.6. – Менеджмент

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата экономических наук

Научный руководитель:
Д.Э.Н., доцент
Черкасов Виталий Васильевич

Москва – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ТРУДА С ПРИМЕНЕНИЕМ СКВОЗНЫХ ЦИФРОВЫХ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	21
1.1 Теоретические аспекты производительности труда	21
1.2 Производительность труда в Российской Федерации: состояние, тенденции, перспективы и способы ее повышения	29
1.3 Сквозные цифровые иммерсивные технологии как способ повышения производительности труда	43
1.4 Методические подходы к оценке производительности труда и эффективности применения сквозных цифровых технологий	60
Выводы по главе 1	68
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА	70
2.1 Формирование и развитие иммерсивных сквозных технологий дополненной и виртуальной реальности в экономическом контуре	70
2.2 Систематизация ролей и функций технологий дополненной и виртуальной реальности в промышленности	79
2.3 Повышение производительности труда с использованием дополненной и виртуальной реальности	89
Выводы по главе 2	97
ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	99
3.1 Операционализация опыта использования и проблематики применения иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности предприятиями промышленных отраслей	99
3.2 Формирование методики внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессы промышленных предприятий	

3.3 Организационно-экономический механизм трансформации системы менеджмента предприятия при внедрении иммерсивных технологий и рекомендации по имплементации методики	133
Выводы по главе 3.....	145
ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	147
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	151
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	175
Приложение А	175
Приложение В	191

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В условиях беспрецедентного санкционного давления на Российскую Федерацию и искусственного ограничения доступа к ключевым рынкам, национальная экономика столкнулась с острой необходимостью глубокой структурно-технологической перестройки. Данный вызов актуализировал потребность в трансформации системы управления сложными экономическими системами в направлении обеспечения операционной устойчивости. Совокупность внешних шоков выступила катализатором структурной трансформации экономики, в рамках которой стратегический приоритет сместился в сторону мобилизации внутренних ресурсов и активизации внутренних точек роста. В данном контексте центральным элементом обеспечения новой траектории развития и обеспечения эффективности функционирования экономики становится повышение производительности труда, выступающим интегральным показателем эффективности использования трудовых ресурсов в национальной экономике.

Производительность труда в Российской Федерации отстает от индустриально развитых стран Европы и Азии в 1,5-3 раза, а количество рабочих часов на одного сотрудника в России выше на 300 ч./чел. [96, 164, 165]. Для России актуальна проблематика доминирования экстенсивных методов экономического роста над интенсивными: с 2014 г. основной источник роста производительности – увеличение капиталовооруженности и основных фондов [44] при том, что в экономике России 25% рабочих мест обладают высоким потенциалом автоматизации, 8% из которых составляет низкоквалифицированный труд, что значительно выше, чем в экономиках других стран [46]. Также наблюдаются низкие темпы перехода к цифровой экономике и технологического приращения информационно-коммуникационных технологий, особенно в промышленном секторе [9,96].

С целью преодоления внешних экономических шоков и формирования устойчивой национальной экономики, активации внутренних резервов

производительности труда в стране и обеспечения технологического лидерства и приращения, в соответствии с указами Президента Российской Федерации № 204 от 7 мая 2018 г. [1] и № 309 от 7 мая 2024 г. [2] приняты национальные проекты «Производительность труда и поддержка занятости», «Экономика данных и цифровая трансформация государства» [1-3] и Постановление Правительства РФ от 18 апреля 2016 года № 317 о реализации Национальной технологической инициативы (НТИ).

За счет технологического приращения в экономике увеличивается доступный арсенал технологий, методов и инструментов повышения производительности труда [27, 86]. В связи с этим, указом Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529 утвержден перечень сквозных «цифровых» технологий, согласно которому определяются приоритетные направления научно-технологического развития, одними из которых являются технологии дополненной и виртуальной реальности (вместе иммерсивные технологии).

Центром технологического приращения в российской экономике выступают промышленные предприятия, на которых особенно актуальна реализация технологических инноваций и цифровизации в условиях санкций и ограниченного доступа к импортным технологиям. Это обусловлено высокой зависимостью промышленных отраслей (нефтедобыча, металлургия, энергетика, автомобилестроение) от устаревшего оборудования, низкой автоматизацией (цифровизовано лишь 20–30% процессов [9, 44]), значительными потерями от простоев и ошибок (до 25–50% операционных затрат [22, 43]), а также необходимостью интенсивного роста производительности.

Таким образом, разработка и имплементация инструментария управления производительностью с применением технологических решений, в том числе иммерсивных технологий, приобретают статус критически значимого фактора обеспечения экономического и промышленного роста. Этот инструментарий должен обеспечивать комплексное управление

ключевыми параметрами бизнес-процессов, включая (но не ограничиваясь): оптимизацию длительности и структуры производственного цикла; минимизацию времени протекания бизнес-процесса и устранение временных потерь в таковых процессах; управление трудоемкостью операции; эргономическую оптимизацию рабочих мест, а также их синергетическую координацию в рамках процессно-ориентированных и системных моделей управления предприятиями.

Анализ мировой практики применения цифровых технологий в бизнес-процессах и теоретических исследований демонстрирует, что иммерсивные технологии дополненной и виртуальной реальности востребованы в различных индустриях: авиастроении, машиностроении, добыче полезных ископаемых, генерации энергии, логистике. Виртуальная и дополненная реальность применяется в проектировании, моделировании, контроле качества, при проведении рабочих инструктажей, в целях обучения персонала, дистанционного взаимодействия и контроллинга. Иммерсивные технологии открывают новые возможности в повышении производительности труда, а вместе с другими сквозными цифровыми технологиями, они формируют переход к новому технологическому укладу, создают конкурентные преимущества для предприятий за счет оптимизации операционных процессов и повышения производительности труда.

Однако данная научная область недостаточно исследована, отсутствуют материалы и методики внедрения сквозных цифровых технологий в бизнес-процессы с целью повышения производительности труда. Указанные обстоятельства определяют актуальность разработки методических аспектов применения сквозных цифровых иммерсивных технологий в целях повышения производительности труда на промышленных предприятиях.

Степень разработанности научной проблемы. Теоретическую рамку исследования формирует Школа системного менеджмента Ч. Бернарда и Д. Форрестера, в рамках которой исследуется целостность экономических субъектов. Теоретическую рамку дополняют теоретические разработки Т.

Шульца и Г. Бекера (теория человеческого капитала), К. Маркса (классическая трудовая теория стоимости), Ф. Девиса (теория технологического принятия), Д. Аджемоглу (теория распределения ресурсов).

Теоретические и методологические основы управления производительностью труда были заложены Д. Рикардо, А. Смитом, К. Марксом, описавшими с политэкономической точки зрения факторы роста производительности. На основании данных исследований, основоположники научного менеджмента Ф. Тейлор и Г. Эмерсон определили принципы управления производительностью труда с точки зрения теории менеджмента. Впоследствии ведущие теоретики и практики менеджмента XX-XXI вв. расширили понимание способов, инструментов и факторов роста производительности труда. Значимый вклад во всестороннее изучение производительности труда и аспектов управления производительностью внесли Э. Мейо, М. Портер, Р. Солоу, П. Друкер, М. Фоллет, Ф. Герцберг, Д. Мак-Грегор, М. Вебер, А. Файоль, Дж. Муни, Л. Урвик.

Советская школа производительности и научной организации труда изучала вопросы комплексного учета человеческого, организационного и технологического факторов производительности труда. Наибольший вклад в становление школы внесли А.К. Гастев и О.А. Ерманский. Факторы производительности исследовали Г.М. Крижижановский, С.Г. Струмилин, Г.П. Щедровицкий. Методики повышения производительности труда разрабатывали Н.А. Бернштейн, Е.Г. Либерман, М.М. Сыркин, А.И. Розенблум, П.М. Керженцев, А.А. Богданов, Г.А. Пруденский.

Постсоветский и современный российский научный дискурс о производительности труда характеризовался смещением фокуса на институциональные факторы, цифровую трансформацию и макроэкономический контекст, комплексный анализ ограничений и резервов производительности в экономике России. Данные аспекты в своих работах освещали С. Глазьев, С. Бодрунов, А. Френкель, А. Соснило, А. Бузгалин, В. Садовничий, В. Арdziнов, А. Федюнина, З. Мкртычан, Н. Карамнова, И.

Ильина, И. Воскобойников, Е. Балацкий, Е. Бассовской, Н. Екимова, Р. Капелюшников и др.

Исследованию вопросов практического применения инструментов и способов повышения производительности труда с целью повышения операционной эффективности на уровне субъектов экономической деятельности посвящены работы: Дж. Лайкера, Н. Хаяси, Т. Оно, С. Синго, М. Вейдера, Д. Джонса, Дж. Шука, М. Имаи, Г. Нива, И. Адизеса, Д. Хоббса, Ч. Марчвинского, А. Остервальдера, Т. Шука, М. Кузыка и др.

Производительность труда в условиях цифровизации рассматривали В.Ф. Уколов, В.В. Черкасов, А.Е. Завьялов, В.Я. Афанасьев, Дж. Вагнер, А.В. Трачук, Л.С. Набокова, Ю.А. Колесников, М.В. Владыка, Л.В. Лapidус и др.

Вопросы управления инновационными проектами рассматривали в работах В. Попов, Н. Кремлев. О. Зябликова, К. Хомкин, В. Первушин, М. Романенко, Н. Азаров, Ф. Ярошенко и др.

Теоретическому осмыслению потенциала применения иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности в промышленном секторе посвящены труды Дж. Сазерленда, П. Милграма, Ф. Кисино, Р. Янга, Дж. Винса, Э. Крокос, А. Сайберфельдта, О. Даниэльсона, Н. Кункела, Ш. Нгок, В. Селиванова, П. Кикин, Е. Комиссарова, А. Николаева, П. Кохно и др.

Однако, несмотря на значимость существующих исследований, открытыми остаются вопросы управления производительностью труда в условиях цифровизации. В частности, не рассмотрены теоретические и практические аспекты применения технологий дополненной и виртуальной реальности для целей повышения производительности труда в промышленном секторе экономики.

Актуальность обозначенной научной проблематики, ее высокая практическая значимость, а также недостаточная методическая разработанность определили выбор темы диссертационного исследования, его цель и задачи, объект и предмет, структуру.

Объектом исследования выступают производственные системы и бизнес-процессы предприятий, нуждающихся в применении сквозных цифровых иммерсивных технологий для повышения производительности труда.

Предметом исследования является применение сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности в целях повышения производительности труда на предприятиях.

Цель исследования состоит в разработке методических аспектов применения сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности в качестве инструмента повышения производительности труда на промышленных предприятиях в условиях актуальных вызовов.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение следующих **задач**:

1. Выявить, на основе системного исследования актуальной теории и практики, анализа эмпирических данных, значимость, возможности и способы применения сквозных цифровых иммерсивных технологий как способа управления производительностью труда в условиях новой промышленной революции и актуальных социально-экономических вызовов;
2. Операционализировать способы применения сквозных цифровых иммерсивных технологий в бизнес-процессах промышленных предприятий для повышения производительности труда для обеспечения целесообразного выбора объектов внедрения;
3. Разработать авторскую методику внедрения иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессы промышленных предприятий;
4. Разработать и апробировать организационно-экономический механизм трансформации системы менеджмента предприятия при внедрении иммерсивных технологий, подтвердить экономическую эффективность, обоснованность и достоверность разработанных методических аспектов.

Теоретическая основа исследования. Теоретическую основу исследования формируют работы отечественных и зарубежных авторов, направленные на исследование факторов управления производительностью труда, применения виртуальной и дополненной реальности в промышленности.

Методологическая основа исследования. В ходе исследования применялись методы систематизации, классификации описания, построения теоретических утверждений, методы индукции, статистического, экономического и сравнительного анализа.

Информационную базу исследования составляют статистические и аналитические материалы органов государственной статистики России (Росстат) о состоянии национальных счетов, цифровизации отраслей и применении цифровых технологий в экономике Российской Федерации, данные Международной организации труда (МОТ), Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) о динамике производительности труда и цифровизации промышленности, материалы исследований научно-исследовательских организаций (НИУ ВШЭ, МГУ и пр.), аналитические материалы Российской академии наук (РАН) и филиалов РАН, материалы заседаний, круглых столов, годовых отчетов органов исполнительной власти Российской Федерации и подведомственных организаций, в полномочиях которых обозначено прямое или косвенное управление производительностью труда, стимулирование роста производительности труда и применения цифровых технологий, материалы промышленных компаний.

Обоснованность и достоверность результатов исследования. Обоснованность выносимых на защиту результатов исследования подтверждается анализом и корректным использованием официальной статистической информации, собираемой, верифицированной и опубликованной в государственных статистических и информационных

системах, результатов большого массива исследований отечественных и зарубежных ученых, опубликованных в рецензируемых научных изданиях.

Степень достоверности полученных научных результатов подтверждается их внедрением в российских организациях. Разработанная автором операционализация способов применения и методика внедрения сквозных цифровых иммерсивных технологии использована в УНО «Московский фонд реновации жилой застройки» для сокращения сроков проектирования объектов капитального строительства, визуализации архитектурно-планировочных и архитектурно-градостроительных решений, при проверке проектной и рабочей документации, поступающей от Генеральных проектировщиков и Генеральных подрядчиков.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертационная работа выполнена в рамках Паспорта научной специальности ВАК Минобрнауки РФ 5.2.6 «Менеджмент»: п. 4. «Управление экономическими системами, принципы, формы и методы его осуществления. Теория и методология управления изменениями в экономических системах»; п. 6 «Методы и критерии оценки эффективности систем управления. Управление по результатам»; п. 16. «Теория и методология управления проектами. Процессы, методы, модели и инструменты управления проектами и программами. Управление рисками (риск-менеджмент)»; п. 17. «Управление операциями. Управление производственными системами. Управление операционной эффективностью предприятия и организации»; п. 19. «Управление инновациями. Инновационные способности фирмы. Управление организационными и технологическими инновациями. Межорганизационные формы управления инновациями»; п. 26. «Управление организацией в контексте цифровой трансформации. Стратегии и методы цифровой трансформации бизнеса».

Научная новизна диссертационного исследования заключается в системном и обоснованном решении актуальной научно-практической задачи разработки методических аспектов управления внедрением сквозных

цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессы промышленных предприятий для повышения производительности труда, разрешении научной и методологической проблемы, выраженной в отсутствии целостного подхода к интеграции данных технологий в бизнес-процессы, их операционализации и практической трансформации теоретического потенциала в конкретный управленческий инструментарий в рамках теории менеджмента.

В процессе диссертационного исследования получены и выносятся на защиту следующие **научные положения и результаты, имеющие новизну:**

1. Выявлены актуальные способы управления производительностью труда среди которых, наряду с традиционными интенсивными и экстенсивными способами, категорическим императивом в условиях четвертой промышленной революции и новой промышленной политики Российской Федерации, для ускорения экономического роста, достижения национальных целей и решения стратегических задач развития, становится применение сквозных цифровых технологий, включающих: большие данные; нейротехнологии и искусственный интеллект; системы распределенного реестра; квантовые технологии; новые (кастомизированные) производственные технологии; промышленный интернет вещей; компоненты робототехники и сенсорику; технологии беспроводной связи; иммерсивные технологии виртуальной и дополненной реальности. Обосновано, что имплементация сквозных цифровых технологий обеспечивает рост конкурентоспособности, уменьшение ресурсопотребления и увеличение производительности труда в зависимости от выбора технологических альтернатив и наличия научно разработанной методики внедрения. Определено, что значительным потенциалом в контексте задачи управления ростом производительности труда обладают иммерсивные технологии виртуальной и дополненной реальности, которые представляют собой инновационные средства визуализации и дополнения реального мира цифровыми объектами для обеспечения возможности изменения управления

путем переноса пользователей в искусственно смоделированные сценарии. Эти технологии эволюционируют от автоматизации процессов к когнитивной интеграции человека и машины, где жесты и взгляды служат естественными интерфейсами для управления. Иммерсивные технологии имманентны «человекоцентричности» (технологии усиливают, а не заменяют человека) - приоритетному принципу следующего этапа развития промышленного производства, промышленной политики и нового технологического уклада. (глава 1, § 1.1.-1.3, глава 2, § 2.1. п. 4. «Управление экономическими системами, принципы, формы и методы его осуществления. Теория и методология управления изменениями в экономических системах» Паспорта научной специальности ВАК 5.2.6. «Менеджмент»);

2. Автором разработана и представлена операционализация применения сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности предприятиями промышленных отраслей, позволяющая определить и конкретизировать области их целесообразного использования. Представлена классификация функций, ролей и возможностей применения сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности в рамках бизнес-процессов для повышения производительности труда, включающая моделирование производственного окружения, контроля качества выполнения операций, развития человеческого капитала, визуализации информации и развития процессов. Сформулированы и систематизированы способы промышленного применения виртуальной и дополненной реальности, обоснована целесообразность интеграции указанных технологий на уровне бизнес-процессов. (глава 2, § 2.1.-2.3, глава 3, §3.1.; п. 17. «Управление операциями. Управление производственными системами. Управление операционной эффективностью предприятия и организации» Паспорта научной специальности ВАК 5.2.6. «Менеджмент»);

3. Разработана авторская методика внедрения сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессы предприятий, направленная на повышение операционной

эффективности и устойчивости производственных систем через интеграцию комплементарных технологий. Методика представляет собой обеспечивающий системный подход шестиэтапный итеративный процесс: (1) оценка уровня производительности труда, инноваций и вовлеченности персонала, включающая анализ текущего состояния бизнес-процессов на основе операционных метрик; (2) диагностическая идентификация дисфункций и кодификация стратегических операций в производственном потоке, фокусирующаяся на выявлении критических зон (техническое обслуживание, логистика и др.) с применением методов анализа потоков создания ценности; (3) формирование структурной схемы внедрения траекторий дополненной и виртуальной реальности, предусматривающее также разработку плана улучшений с количественной оценкой резервов производительности; (4) операционализация траекторий AR/VR в бизнес-процессе, обеспечивающая мониторинг временных рамок и исполнения изменений; (5) имплементация методики процедурного контроля за качеством внедрения технологий AR/VR, направленная на верификацию реализации улучшений с использованием поствнедренческих данных; (6) оценка уровня влияния на высвобождение резервов производительности труда.

Отличительной особенностью авторской методики от существующих подходов является системное устранение игнорирования принципа комплементарности, когда AR/VR рассматривались как изолированные инструменты, что существенно снижало синергетический эффект. Методика позволяет выявлять, и классифицировать проблемные зоны на предприятии, что помогает сосредоточиться на ключевых производственных участках и бизнес-процессах, требующих оптимизации и внедрения цифровых иммерсивных технологий, осуществлять глубокий многоуровневый анализ.

Научная новизна в области управления проектами, обеспечиваемая разработанной методикой, заключается в ее способности преодолевать фрагментарность традиционных подходов к внедрению сквозных цифровых технологий. В отличие от распространенной практики, где AR/VR-решения

рассматриваются как изолированные ИТ-проекты или инструменты автоматизации, предложенная автором шестиэтапная методика представляет собой целостный проектно-процессный подход к управлению проектами. Она системно связывает стратегические цели повышения производительности труда (макроуровень) с тактическими задачами операционализации технологий в конкретных бизнес-процессах (микроуровень). Новизна проявляется в интеграции методологий управления изменениями (на этапах 1, 3, 6), риск-менеджмента инноваций (этап 2) и непрерывного улучшения (PDCA-цикл, заложенный в итеративность этапов 4-5) в единый управленческий контур (глава 1, §1.3, глава 3, §3.2.; п.16. «Теория и методология управления проектами. Процессы, методы, модели и инструменты управления проектами и программами. Управление рисками (риск-менеджмент)», п. 19. «Управление инновациями. Инновационные способности фирмы. Управление организационными и технологическими инновациями. Межорганизационные формы управления инновациями» Паспорта научной специальности ВАК 5.2.6. «Менеджмент»);

4. Разработан организационно-экономический механизм и проведена апробация трансформации системы управления проектами и организационной структуры управления организации при внедрении иммерсивных технологий. Разработанный автором механизм включает: (1) институциональную адаптацию структуры управления, интегрирующую комплементарные AR/VR-траектории в существующие бизнес-процессы (оценка производительности, диагностика дисфункций); (2) оперативные процедуры мониторинга и процедурного контроля, синхронизированные с этапами операционализации и верификации улучшений; (3) финансовую модель, основанную на расчетах ROI и экономической эффективности.

В рамках разработки организационно-экономического механизма автором обоснована необходимость и предложена модель создания специализированного проектного офиса (ПО) с расширенным функционалом, выступающего ключевым элементом трансформации системы управления. В

отличие от классического проектного офиса, фокусирующегося на координации и методологии, предложенная модель наделена стратегической и интеграционной ролью. Ее ключевые функции включают: (1) управление портфелем AR/VR-инициатив на основе их вклада в стратегические KPI производительности; (2) координацию междисциплинарной экосистемы проекта, синхронизацию действий внутренних подразделений (производство, ИТ, HR, охрана труда) и внешних партнеров (интеграторы, вендоры); (3) сопровождение полного цикла внедрения согласно предложенной шестиэтапной методике — от диагностики до оценки влияния; (4) централизованное управление знаниями и компетенциями, включая разработку программ адаптации, обучение и формирование внутренних экспертиз по иммерсивным технологиям. Данный проектный офис выступает институциональным ядром, обеспечивающим устойчивость, масштабируемость и системный учет рисков при интеграции иммерсивных технологий в бизнес-процессы, превращая разрозненные инновационные проекты в управляемую программу цифровой трансформации.

Экономическая эффективность, обоснованность и достоверность разработанных методических аспектов, включая операционализацию способов применения, методику внедрения иммерсивных цифровых технологий, подтверждены их апробацией и практическим внедрением в УНО «Московский фонд реновации жилой застройки» для сокращения сроков проектирования объектов капитального строительства, визуализации архитектурно-планировочных и архитектурно-градостроительных решений, при проверке проектной и рабочей документации, поступающей от Генеральных проектировщиков и Генеральных подрядчиков. Применение технологий дополненной и виртуальной реальности в УНО «Московский Фонд реновации жилой застройки» позволило сократить сроки проектирования и проверки поступающей документации на 14%, повысить операционную эффективность и производительность труда проектных команд на 8%, осуществить перераспределение трудовой нагрузки и высвободить 3 ч.

в мес. полезного рабочего времени сотрудников. (глава 3, §3.3.; п. 6. «Методы и критерии оценки эффективности систем управления. Управление по результатам», п. 26. «Управление организацией в контексте цифровой трансформации. Стратегии и методы цифровой трансформации бизнеса» Паспорта научной специальности ВАК 5.2.6. «Менеджмент»).

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии теории управления эффективностью бизнес-деятельности предприятий и повышения производительности труда посредством использования цифровых технологий. Систематизированы факторы, сдерживающие и стимулирующие рост производительности (ресурсные ограничения, качество человеческого капитала, уровень цифровой зрелости), а также разработана классификация резервов эффективности для промышленных предприятий. Теоретический и научный вклад заключается в теоретическом обосновании сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности как инструмента повышения эффективности управления производственными циклами, включая модели их взаимодействия с традиционными управленческими практиками.

Практическая значимость исследования. Исследование решает проблему фрагментарного внедрения сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности, предлагая переход от точечных решений к комплексной трансформации операционного менеджмента. Результаты проведенного исследования позволяют внедрять сквозные цифровые иммерсивные технологии дополненной и виртуальной реальности в промышленности для оптимизации обучения персонала, контроля качества и моделирования процессов; использовать универсальные сценарии интеграции иммерсивных технологий в бизнес-процессы в целях повышения производительности труда; адаптировать предложенные рекомендации к специфике предприятий, включая оценку их влияния на ключевые показатели.

Апробация результатов исследования. Результаты, выводы и практические рекомендации проведенного исследования были представлены и получили одобрение на научно-практических конференциях, материалы которых раскрывают проблемы повышения производительности труда посредством применения информационно-коммуникационных технологий.

Апробация результатов исследования проводилась на научно-практических конференциях: Второй Московский марксистский форум «Общественные науки в СССР и их роль в XXI веке (100-летию образования СССР посвящается)» (г. Москва, Россия, 2022 г.); X Всероссийская научная конференция «Сперанские чтения. Социально-экономическое развитие России в условиях реформирования мироустройства» (г. Москва, Россия, 2023 г.); V Международная научно-практическая конференция «Наука, технологии и общество: взаимодействие и перспективы» (г. Москва, Россия, 2024 г.); «Современные тренды и приоритеты устойчивого развития регионов» (СТПР23), посвященной 300-летию Российской академии наук (г. Махачкала, Россия, 2023 г.); IX Международная Научно-практическая Конференция «Наука и образование: Достижения и перспективы» (г. Саратов, Россия, 2024 г.); XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации» (г. Новосибирск, Россия, 2024 г.), III Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и практические решения в науке» (г. Москва, Россия, 2024 г.).

Перечень публикаций автора. В рамках исследования опубликованы следующие материалы в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденных Высшей аттестационной комиссией, входящих в перечень К2:

1. Мерзликин, Н.Г. Управление производительностью труда в контексте российской экономики: проблемы и перспективы / Н. Г. Мерзликин

// Научно-аналитический журнал Финансовые рынки и банки. 2024;(8):32-38.
<https://doi.org/10.24412/2658-3917-2024-8-32-38>;

2. Мерзликин Н.Г. Роль иммерсивных технологий в повышении производительности труда на примере использования дополненной и виртуальной реальности. Вестник университета. 2024;(5):78-85.
<https://doi.org/10.26425/1816-4277-2024-5-78-85>;

в перечень КЗ:

3. Мерзликин, Н.Г. Дополненная и виртуальная реальность в промышленности: история развития и особенности применения / Н. Г. Мерзликин // Вестник Российского нового университета Серия «Человек и общество», 2024;(3):47-56, <https://doi.org/10.18137/RNU.V9276.24.03.P.047>;

в Российский индекс научного цитирования:

4. Мерзликин, Н. Г. Применение технологий дополненной и виртуальной реальности в обучении персонала на производстве / Н. Г. Мерзликин // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов XVIII Всероссийской научной конференции молодых ученых. В 8-ми частях, Новосибирск, 02–06 декабря 2024 года. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2025. – С. 347-351.;

5. Мерзликин, Н. Г. Технологии виртуальной и дополненной реальности в сфере промышленности как инструменты обеспечения экономического роста страны / Н. Г. Мерзликин // Современные тренды и приоритеты устойчивого развития регионов: Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук, Махачкала, 17 октября 2023 года. – Махачкала: Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН, 2023. – С. 314-321.;

6. Технологии виртуальной и дополненной реальности в сфере промышленности как инструменты обеспечения экономического роста страны [Текст]: докл. к X Всероссийской научной конференции «Сперанские чтения. Социально-экономическое развитие России в условиях реформирования мироустройства»; Российский государственный гуманитарный университет /

Мерзликин Н.Г. / ФГБОУ ВО «Российской государственной гуманитарный университет»;

7. Мерзликин, Н. Г. Применение иммерсивных технологий в бизнес-процессах как управленческая инновация / Н. Г. Мерзликин // Глобальные научные тенденции: интеграция и инновации: Сборник статей Международной научно-практической конференции, в 2 частях, Симферополь, 22 октября 2024 года. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2025. – С. 414-419.

опубликованные в прочих изданиях:

8. Мерзликин Н.Г., Арзуманян, М. А, Котов Г.В. Рынок труда в России и цифровая трансформация / Н. Г. Мерзликин, М. А. Арзуманян, Г. В. Котов // Вызовы менеджмента. – 2019. – № 1. – С. 5-9. – EDN RIBYLM.;

9. Мерзликин, Н.Г. Дополненная и виртуальная реальность как инструмент развития производственной системы и практики развития людей / Н. Г. Мерзликин // Вызовы менеджмента. – 2018 – № 4. – С. 74-79.;

10. Бородулин, А. Л, Мерзликин Н.Г. Управление талантами как важнейшая составляющая программы развертывания и развития производственной системы / А. Л. Бородулин, Н. Г. Мерзликин // Вызовы менеджмента. – 2017. – № 2. – С. 17-21. – EDN XZADBJ.;

Структура научно-квалификационной работы (диссертации).

Научно-квалификационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и литературы, приложений. Диссертация изложена на 197 страницах, содержит 188 источников, 11 таблиц, 20 рисунков, 2 приложения.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ТРУДА С ПРИМЕНЕНИЕМ СКВОЗНЫХ ЦИФРОВЫХ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

1.1 Теоретические аспекты производительности труда

Производительность труда и ее роль в экономике изучалась в рамках различных теоретических подходов. Античное представление о производительности труда выражалось в функциональном разделении ролей, труда и специализации человека в обществе (Ксенофонт, Аристотель) [55, 94]. Ф. Аквинский трансформировал понимание производительности труда, перенес акцент на управление человеческими ресурсами, и сформулировал принцип дихотомии интеллектуального и физического труда [56].

Философский взгляд на производительность труда к XVIII-XIX вв. стал терять свою актуальность. Значимые достижения в области исследования сущности производительности труда происходили благодаря классической политической экономии и перехода от трактовки производительности труда как феномена разделения труда, в область экономики как отдельной научной дисциплины [17]. Так, в рамках концепций и теорий политической экономии, производительность труда стала рассматриваться как совокупность факторов разделения труда, профессиональной специализацией рабочих, уровнем профессиональных компетенций и машинных технологий, вовлеченных в экономическую деятельность.

Согласно А. Смиту, производительность труда зависит от объема трудовых ресурсов, задействованных в материальном производстве, а ее рост прямо зависит от численности населения, занятого в производительных секторах экономики [89]. Д. Рикардо, развивая идеи Смита, выявил пропорциональную зависимость между трудом, стоимостью товаров и распределением богатства [63]. Ж.-Б. Сэй, утверждал, что эффективный процесс производства формируется благодаря взаимодействию трех

факторов-основ национального богатства стран: труда, земли и капитала. Позднее А. Маршалл расширил данную концепцию, добавив четвертый фактор – предпринимательские способности, что позволило учесть роль инноваций и науки об управлении в создании экономической ценности.

Т. Мальтус в своих исследованиях акцентировал взаимосвязь между объемом трудовых ресурсов и производительностью: увеличение численности занятых в экономике способно повысить совокупную производительность труда, но необходимо поддерживать уровень квалификации работников, чтобы не допустить индивидуального снижения уровня производительности [53].

У. Петти связал эффективность управления производительностью труда с развитием институциональных механизмов в обществе и экономике, системном подходе к учету, распределению и контролю трудовых ресурсов и выделял значимость государства в процессе подготовки квалифицированных кадров. Выдвинутый им тезис о прямой зависимости себестоимости продукции от численности занятых работников заложил методологическую основу для классических теорий трудовой стоимости и оптимизации производственных процессов [73].

Индустриальная революция XIX века привнесла новые переменные. К. Маркс систематизировал предшествующие теории: была определена зависимость общественного развития от уровня и качества производительности труда, сформирована трудовая теория стоимости, определены виды производительности (общественная, индивидуальная, абсолютная и относительная) и представлена однофакторная модель производительности труда, основанная на уровне производительных сил и их отношениях в экономике [16,63].

Последствия индустриальной революции показали, что по мере применения технологических инноваций растет производительность труда и снижается стоимость рабочей силы [15]. Подобная ситуация приводит к конкуренции за рабочие места, снижается заработная плата рабочих и

замещаются функции человека на производстве в сторону технического контроля за деятельностью машин.

Дальнейшее развитие теоретических аспектов производительности труда связано с междисциплинарными исследованиями Э. Дюркгейма, Т. Шульца и Э. Прескотта. Э. Дюркгейм утверждал, что углубление разделения труда способствует не только росту экономической эффективности, но и укреплению социальной сплоченности, создавая основу для формирования сложных общественных структур [29]. Э. Прескотт, изучая реальные деловые циклы, выявил взаимосвязь между снижением производительности и рецессиями, подтвердив значимость этого показателя для макроэкономической стабильности. Т. Шульц обосновал влияние инвестиций в человеческий капитал на долгосрочный рост производительности.

Представители новой классической макроэкономики Т. Сарджент, Р. Барро, Р. Лукас исследовали взаимосвязь уровня заработной платы и трудовой мотивации. Согласно их моделям, в условиях высокой конкуренции на рынке труда работники стремятся максимизировать эффективность, что позитивно отражается на совокупной производительности [19]. Б. Кларк, развивая теорию факторов производства Ж.-Б. Сэя, разработал концепцию предельной производительности. Его выводы свидетельствуют, что оптимальный объем использования труда достигается при равенстве предельного продукта труда и затрат на его привлечение, что легло в основу микроэкономического анализа занятости и распределения ресурсов.

Отдельного упоминания заслуживает вклад отечественных ученых и практиков, которые в рамках экономических школ Российской империи, СССР и постсоветской России разрабатывали методы оценки и повышения производительности, адаптированные к национальным условиям. Среди ученых Российской империи значительный вклад в изучение производительности труда внесли М.М. Ковалевский и С.Ю. Витте.

М.М. Ковалевский, основываясь на принципах позитивистской методологии, разработал системную модель факторов общественного

развития, выделив четыре ключевых детерминанты производительности: а) участие страны в международном разделении труда; б) концентрация трудовых ресурсов («густота населения»); в) наличие материально-технической базы; г) характер доминирующих рыночных отношений [39,80]. С.Ю. Витте в своих работах дополнил эту концепцию, выделив пять взаимосвязанных элементов:

- экстенсивный фактор (численность трудоспособного населения);
- технологическая интенсивность (механизация производств);
- культура экономических взаимодействий;
- развитость внутреннего рынка (как основа экономического суверенитета);
- институциональные условия для инноваций [28,80].

Данные исследования заложили основы для последующего развития теории производительности в советский период, где приоритетом стало сочетание плановых методов управления с технико-экономическим нормированием труда и роли производительного человека.

Теоретизация производительности труда в советской науке опиралась на диалектическое единство технико-экономических и социально-управленческих факторов. С.Г. Струмилин, развивая марксистскую парадигму, интерпретировал производительность как функцию четырех переменных:

- антропологическая – физиологический потенциал работника (энергетическая емкость труда);
- технологическая – степень механизации процессов и фондовооруженности;
- организационная – интенсивность использования трудовых ресурсов и нормирование;
- системная – пропорции распределения производительных сил [17,80].

А.К. Гастев и О.А. Ерманский сместили фокус на микроуровень, разработав концепцию «трудовых установок» и научной организации труда. В их работах производительность труда трактовалась как производная от производительных сил в экономике и их составных элементов:

- психофизиологических констант человека, таких как: порог утомляемости, эргономики рабочего места, физические пределы скорости работы [26];

- рациональных трудовых движений и элементов научной организации труда, хронометража операций, эффективности системы управления и планирования производства;

- мотивационных механизмов труда [26,34-36];

С целью тиражирования разработок по рациональной организации труда, был организован Центральный институт труда (ЦИТ), который фокусировался на научном изучении и практическом применении рационализаторских приемов, подготовке квалифицированных кадров, системному обучению персонала в различных индустриях. В дальнейшем, Н. Бернштейн, Е. Либерман, М. Сыркин, А. Розенблюм, П. Керженцев, Г. Пруденский, Е. Касимовский и др. ученые описывали способы повышения производительности труда на принципах научной организации труда [45,57].

На рубеже XIX–XX веков, акцент в исследованиях сместился на прикладные аспекты управления производительностью: основными направлениями стали рационализация трудовых и производственных процессов на базе принципов научной организации труда, механизация трудовых процессов и внедрение технологических инноваций стали ключевыми направлениями исследований. Теоретической основой НОТ, в современном понимании, послужили разработки Ф. Тейлора, осуществившего переход от макроэкономического анализа к микроуправленческой парадигме. Его принципы научного менеджмента базировались на: декомпозиции трудовых действий на элементарные операции с последующим хронометражем, разработке нормативов выполнения работ на основе

эмпирических данных, синхронизации материальных и человеческих ресурсов для сокращения производственного цикла. Ф. Тейлор доказал, что рационализация даже простейших операций позволяет увеличить дневную выработку рабочего без роста утомляемости [25]. Однако его подход критиковали за механистичность – в отличие от советской школы НОТ, тейлоризм игнорировал коллективную синергию и социально-мотивационные аспекты.

Формирование концепции научной организации труда (НОТ) стало логическим этапом эволюции управленческой мысли, фокусирующимся на системном повышении эффективности производственных систем, а вместе с тем и производительности труда [35]. В отличие от предшествующих теорий, НОТ интегрировала инженерный, экономический и социальный подходы, рассматривая производительность как производную трех взаимосвязанных элементов:

1. Техничко-технологической базы (степень механизации, качество оборудования);
2. Организационного проектирования (распределение функций, нормирование операций);
3. Антропоцентрического фактора (психофизиологические возможности работника).

Основной задачей НОТ выступала минимизация ресурсных потерь через оптимизацию трудовых процессов на микроуровне – от отдельных рабочих мест до цеховых структур. Оптимизация достигалась за счет снижения трудоемкости выполнения операций за счет устранения нефункциональных действий, стандартизацию операционных процедур и системы подачи рационализаторских предложений (предложений по улучшениям).

Эволюция НОТ демонстрирует, что устойчивый рост производительности достигается не за счет экстенсивных факторов (увеличение рабочего дня), а через синергию инноваций:

- технологических (внедрение конвейеров Г. Форда, организационное проектирование в условиях технологической модернизации Д. Хоббса, Л. Урвика, Г. Нива, А. Файоля, И. Адизеса, теории технологического принятия по Ф. Дэвису и др.);

- методологических (стандартизированные карты А. Гастева, принципы производительности и управления Г. Эмерсона, Дж. Шука, нормирование операций Ф. и Л. Гилберт и др., системные подходы в менеджменте Ч. Бернарда и Д. Форрестера, Теория распределения ресурсов по Д. Аджемоглу и др.);

- управленческих (способы планирования Г. Ганта, сбалансированные системы показателей Р. Каплана и Д. Нортон, взаимодействие с человеческим капиталом и его развитие по Т. Шульцу и Г. Беккеру и др.).

Современные исследования производительности труда раскрываются в работах отечественных исследователей и ученых: В. Садовниченко, А. Акаева [8], В. Арdziнова [11], С. Глазьева, И. Воскобойникова [24], С. Бодрунова [27], А. Бузгалина, А. Колганова [15-17,52], Р. Капелюшниковой [53], Е. Балацкого [12], А. Соснило [91], В. Войтова, А. Зайцевой, Н. Екимовой [31] и др. Российские ученые концентрируются на системном анализе факторов и методолого-аналитической парадигме, где производительность труда трактуется как функция в институциональном контексте.

Параллельно проводятся исследования в рамках практико-ориентированной парадигмы производительности и операционно-процессном направлении. Значительный вклад внесли труды Дж. Лайкера, М. Вейдера, Т. Оно, Н. Хаяси, С. Синго, М. Имаи [14]. В частности, данные авторы исследовали передовой опыт компании Toyota и концепции бережливого производства и динамического процесса непрерывных улучшений («Кайдзен»), основанной на разработках Центрального института труда.

Производительность труда в условиях цифровизации бизнес-процессов рассматривали Н. Линдер, Дж. Вагнер, А. Трачук, Л. Набокова, Н. Куликов, А.

Колесников, А. Иванова, М. Владыка, А. Соколова, Я. Лубнин, М. Санталова, Л. Лapidус и др.

Исторический анализ термина «производительность труда» демонстрирует, что трактовка данного понятия трансформировалась под влиянием технологических, социальных и экономических изменений. На ранних этапах (Античность, Средневековье) концепции базировались на разделении умственного и физического труда, развитии практических навыков и ограниченном внимании к созидательным способностям человека.

С XVII века формируется однофакторный подход. Классическая политэкономия (А. Смит, Д. Рикардо) связывала производительность с интенсивностью труда, его разделением и объемом затрат. Марксистская школа (К. Маркс) акцентировала анализ производительных сил, включая средства производства и отношения собственности. Представители исторической школы (Э. Дюркгейм) расширили понимание, добавив социально-демографические факторы: численность населения и качество трудовых отношений.

К середине XX века утвердился многофакторный подход, синтезировавший предыдущие наработки. Его основой стала модель, объединяющая капитал, труд, энергоресурсы, материалы и управленческие услуги. Современная наука трактует производительность труда как обобщенный индикатор эффективности, зависящий от: уровня разделения труда (институционального, отраслевого, операционного), технологической оснащенности производства, качества человеческого капитала и методов научной организации труда.

С авторской позиции, производительность труда представляет собой фундаментальный макроэкономический параметр, количественно характеризующий результативность процесса преобразования агрегированных факторов производства (включая живой труд, физический капитал, человеческий капитал и природные ресурсы) в совокупный выпуск

конечных товаров и услуг в рамках национальной экономики или ее сегментов за фиксированный временной период.

1.2 Производительность труда в Российской Федерации: состояние, тенденции, перспективы и способы ее повышения

Повышение производительности труда в Российской Федерации является одним из приоритетных направлений государственной политики. В 2018 году Президентом РФ был утвержден национальный проект «Производительность труда и поддержка занятости», представляющий собой комплекс мер по государственной поддержке бизнеса в рамках Федеральных проектов. Для реализации национального проекта была учреждена организация АНО «Федеральный центр компетенций в сфере производительности труда» (Федеральный центр компетенций, ФЦК). ФЦК осуществляет функции оператора национального проекта и обеспечивает передачу наиболее актуальных и современных знаний о научной организации труда предприятиям базовых несырьевых отраслей экономики, учреждениям социальной сферы [4].

Утвержденная указом от 2 июля 2021 г. № 400 Президента Российской Федерации «Концепция национальной безопасности Российской Федерации» предусматривает обеспечение устойчивого экономического роста. Одним из наиболее значимых индикаторов в данной концепции является показатель производительности труда [3]. В современной экономической науке превалирует консенсус о прямой корреляции между производительностью труда, макроэкономическим ростом и устойчивостью национальных экономических систем. А с точки зрения непосредственно самой концепции экономической безопасности, производительность труда является системообразующим элементом, позволяя описать интегрированную систему связей между производительными силами в экономике, инновационной емкости производства, конкретных преимуществ.

Повышенное внимание к производительности труда как ключевому фактору экономического роста возникло после глобального кризиса 2008–2009 гг., когда традиционные экстенсивные модели развития исчерпали свой потенциал. В посткризисный период (2008–2012 гг.) актуализация этой проблематики была связана с накоплением структурных дисбалансов:

- ресурсной зависимостью национальных экономик и действием природных факторов (доступность отраслей хозяйствования в стране);
- институциональными ограничениями определяющие эффективность государственной политики и уровень развития экономических институтов, в соответствии с принципом двойственной функции Д. Норда;
- низкой долей высокотехнологичных производств (как проявления действия технологических факторов, обеспечивающие интенсификацию производственных процессов) и управленческими ограничениями (включая ограничения человеческого капитала);
- диспропорциями в отраслевой структуре и структурными факторами, определяющими деловые циклы и взаимоотношение между отраслями [27, 31, 87].

В ответ на эти вызовы научное сообщество сформировало два взаимодополняющих направления повышения производительности:

1. Технологическое – внедрение средств механизации, автоматизации, цифровых платформ, рост фондовооруженности и модернизация оборудования;
2. Организационно-управленческое – оптимизация рабочих процессов через научную организацию труда, развитие управленческих компетенций и адаптацию передовых практик менеджмента.

Мировой опыт реализации государственных программ повышения производительности труда, согласно докладу Аналитического управления Аппарата Совета Федерации (исследовался опыт Японии (Research Institute of Economy, Trade and Industry, Japan Productivity Center), Южной Кореи (Productivity commission), Германии (RKW Agencies), США (Manufacturing

extension partnership), Китая (China Productivity Center), Индии (National Productivity Council) и др. стран), стратегическая поддержка реального сектора экономики является эффективным инструментом обеспечения конкурентной и устойчивой экономики страны, роста благосостояния населения и повышения общего уровня жизни [77,78].

Исследование причин низкой производительности труда фокусируется на выявлении системных факторов, сдерживающих ее рост. В работах отечественных ученых часто акцентируется внимание на доминировании отдельных факторов, что формирует односторонний подход к решению проблемы производительности. Однако производительность труда определяется взаимодействием элементов экономической системы – технологических, организационных, социальных и институциональных сторон [64]. Изолированный анализ одного фактора, даже в рамках конкретной научной школы, искажает реальную картину из-за игнорирования причинно-следственных связей между ними.

Необходимость повышения производительности труда в России обуславливается тем, что производительность труда в развитых странах превышает показатели России в 1,5-3 раза [1]. Нестабильность роста производительности труда отмечают и в Международной организации труда (МОТ). Для целей оценки производительности, МОТ сопоставляет между собой общий объем выпуска продукции в стране (ВВП) на единицу рабочей силы (численность занятых) [171]. Согласно данным, МОТ, в индустриально развитых странах Европы и Азии темп роста с 2014 г. снижается, но, в целом, наблюдается положительная динамика в долгосрочной перспективе. Наиболее заметен длительный спад производительности в Японии с 2014 по 2020 год, и в Великобритании в 2019 г. в период ограничений, вызванных пандемией Covid-19. В Российской Федерации рост производительности труда отмечается в течение нескольких периодов – с 2016 по 2019 гг. и с 2023 г. Рост производительности труда составляет от 2,1% до 3,3% [24,171].

На рисунке 1 представлена динамика изменения показателей производительности труда в разрезе индустриальных стран Европы (Германия, Франция, Италия, Великобритания), Азии (Япония, Южная Корея), России и США по данным Международной организации труда (см. рисунок 1).

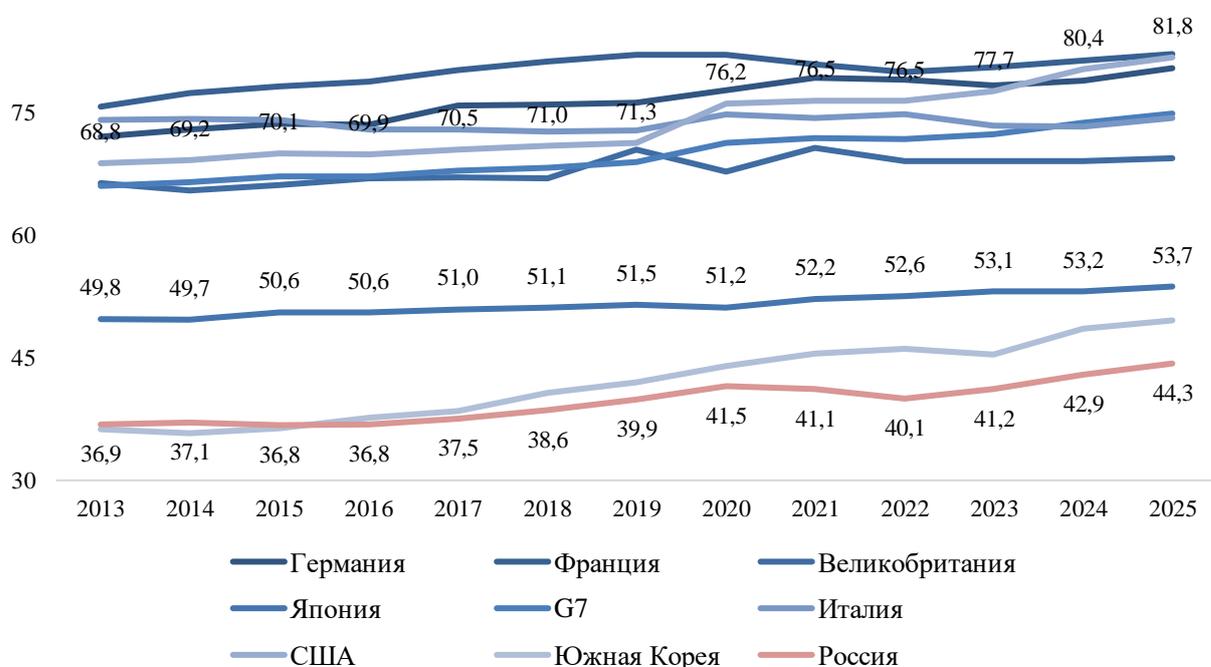


Рисунок 1 – Выработка за час работы (в постоянных ценах ВВП 2021 г., международные доллары по ППС) по данным Международной организации труда (Output per hour worked (GDP constant 2021 international \$ at PPP) 2013-2025 гг. [171]

Индустриально развитые страны Европы, Азии и США с 2013 г. показывают опережающие темпы роста производительности труда: производительность труда по странам выросла с 2013 до 2022 г., а с 2016 г. производительность труда заметно возрастает. Во многом рост данного показателя характеризуется наличием в экономике высококвалифицированных рабочих мест, государственной поддержкой инновационной, технологической и инвестиционной активности предприятий, модернизацией основных фондов и научной организации труда.

За рассматриваемый период, производительность труда в России выросла только на 7,4 долл. США на 1 час отработанного времени. При этом,

производительность труда уменьшилась в 2015 г., 2021 г., и только в 2023 г. достигла показателей 2013-2014 гг. Начиная с 2016 г., производительность труда в России растет большими темпами, однако отставание от индустриально развитых стран все еще велико.

Следует отметить то, что с 2021 г. Россия не принимает участие в оценке производительности труда ОЭСР. В настоящий момент производительность труда в России оценивается Федеральной службой государственной статистики (Росстат). Для целей оценки применяется индекс производительности труда, рассчитываемый как отношение индекса физического объема ВВП к изменению совокупных затрат труда в % к предыдущему году. Согласно расчетам Росстата, значение индекса в 2019 г. составило 102,4%, 2020 – 99,6%, 2021 – 103,9%, 2022 – 97,2%, 2023 – 102,3% [6,67], 2024 – 103,2%, 2025 – 101,5% (прогнозы Росстата). Из данных расчетов можно сделать вывод о том, что рост производительности труда в России не стабильный. По прогнозам Института народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук, (ИНП РАН), потенциал роста производительности находится в диапазоне 15-20% до 2029 г. [81].

Рассматривая далее содержательную часть показателя производительности труда, необходимо рассмотреть показатели среднегодового количества отработанных часов на человека. Оценка количества отработанных часов на человека представлена на рисунке 2 (см. рисунок 2).

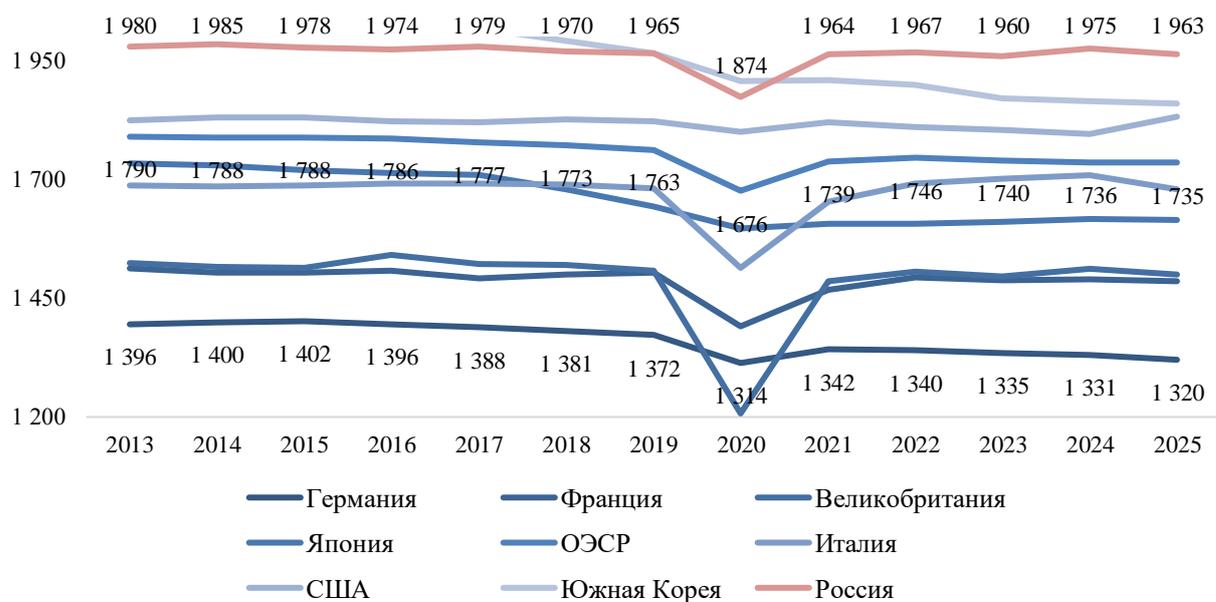


Рисунок 2 – Среднее количество отработанных часов на человека (Average annual hours actually worked per worker) по данным ОЭСР, ч. [164,165]

Из данного графика следует, что наибольшее количество рабочих часов в среднем на человека с 2013 по 2018 г. наблюдается в Южной Корее, наименьшее – в Германии. Однако с 2018 г., в Российской Федерации наблюдается самое больше число рабочих часов – 1 965 ч. на 1 чел. При этом заметна тенденция к уменьшению численности рабочих часов во всех рассматриваемых странах. Следует отметить и уменьшение численности рабочих часов в 2020 г. из-за коронавирусных ограничений. К концу 2021 г., численность часов восстановилась. Контрастно рассмотреть сопоставление производительности труда в Российской Федерации и Южной Корее. За рассматриваемый период 2013 – 2025 гг., Южная Корея обогнала РФ в качестве роста с показателя 36,3 до 49,6 по выработке в ВВП за час работы, а количество рабочих часов на одного человека сократилось на 245 ч.

Наблюдается тенденция снижения численности рабочих часов в индустриальных странах. В России, наоборот, наблюдается сохранение численности рабочих часов в пределах 1965 – 1980 ч. в год. Следует отметить и то, что часовая производительность труда в России отстает от значений производительности труда индустриально развитых стран, а количество отработанного времени выше (Ирландия, США, Германия, G7). Исходя из

полученных данных, продолжительность рабочего времени в России выше, но за доступное рабочее время сотрудниками предприятий производится меньше продукции. Следовательно, производительность труда в реальном секторе экономики существенно ниже показателей развитых стран.

Существует определенная причинно-следственная связь между факторами производства и производительностью труда. Некорректно выделять в системе производительности труда один или несколько факторов, так как производительность труда – есть отражение состояния производительных сил в экономике. Рассмотренные ранее факторы производства имеют выраженные экономические, технологические и управленческие контуры [70]. Под контуром следует понимать принципиальную границу, которая определяет то, к какой области знаний и деятельности относится тот или иной фактор. Указанный контур формирует представление самих форм и проявлениях факторов производительности труда. По результатам исследования, автором составлена структура взаимосвязей проблем и препятствий росту производительности труда в Российской Федерации (см. рисунок 3).



Рисунок 3 – Взаимозависимость проблем и препятствий росту производительности труда в Российской Федерации

Источник: составлено автором по материалам исследования

На данном рисунке отражены связи между степенью значимости и соотношением группы факторов между собой. В первую очередь в экономике Российской Федерации сохраняется системный барьер, вызванный структурными дисфункциями: низкая производительность труда вызвана структурными сдвигами в экономике: рост теневой занятости, трудовой миграции, концентрации экономики в административных центрах из-за нестабильности мировой и отечественной экономики. Согласно оценке И.Б. Воскобойникова, дисфункции привели к тому, что 80% роста производительности труда до 2013 г. приходилось только на строительную отрасль, отрасль услуг и добычу полезных ископаемых. Указанная ситуация приводит к тому, что с 2014 г. источником роста производительности является рост капиталовооруженности.

Акцентуация на капиталовооруженности, как источника роста производительности труда, имеет дуальную природу. В исследовании Ю.В. Симачева, М.Г. Кузыки, А.А. Федюнина, А.А. Зайцевой, М.А. Юревича отмечается [87], что макроуровне проблема обеспечения роста производительности операционализируется в области кадрового потенциала и устаревания материально-технической базы: 50% предприятий отмечают потребность в модернизации оборудования, 48% необходима технологическая модернизация, 45% предприятий рассматривают изменение управленческой и мотивационной парадигмы среди сотрудников.

В исследовании Института народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук (ИНП РАН) отмечается другая сторона рассматриваемой проблемы: низкая производительность труда характеризуется низким качеством трудовых ресурсов в России: 30% населения занято в теневой экономике, 13,6% трудящихся работают не полный рабочий день, 8% трудятся на низкоквалифицированных рабочих местах с высоким потенциалом автоматизации [81]. Федеральный центр компетенций обосновывает рассмотренную причину в части низкой культуры управления

производством, отсутствием практики применения цифровых технологий и управленческих компетенций, отставанием в развитии человеческого капитала [9,19].

В части экономического контура, следует выделить надстройку над экономическим и политическим обществом – уровень технологического уклада в стране. Уровень технологического уклада определяет качество труда в экономике, экономические связи между субъектами экономической деятельности и регионами [20]. В России преобладает 3-5 ТУ, когда в экономике индустриальных стран устоялся 6 ТУ. Наблюдается постепенный переход к 5 и 6-му ТУ, который сопровождается цифровизацией, цифровой трансформацией [15]. Содержание труда человека по мере осуществления переходов между ТУ подвержено изменениям в составе рабочей силы и изменениям требований к квалификации и качествам рабочих [52], усилением связей между технологической и кадровой оснащенности предприятий [15]. В.Ф. Уколов, А.Е. Завьялов, В.В. Черкасов отмечают, что присутствует и проблематика адаптации нормативно-правовой системы реального сектора экономики к цифровизации [106]. В другом исследовании В.Ф. Уколов и В.В. Черкасов детализируются тренды и драйверы цифровизации реального и виртуального сектора экономики как инструмента индустриализации промышленности [105].

При дисбалансах в технологических укладах, предприятия рассматривают способы экстенсивного повышения производительности: за счет расширения производственных линий, увеличения численности рабочих смен, увеличения числа рабочих мест – т.е. повышение производительности труда обеспечивается базовыми инструментами рациональной организации труда [32]. Указанное требует привлечения трудовых сил в экономику и порождает проблематику теневой занятости, а социально-экономические условия, вызванные существующей экономической системой, создают условия для структурной безработицы и неполной занятости.

Совокупность указанных условий приводит к тому, что создается замкнутый круг: из-за состава рабочей силы и качества труда предприятия не могут в полной мере запускать высокопроизводительные рабочие линии для производства продукции с высокой добавленной стоимостью, а ограничиваются частичной модернизацией производственных мощностей. В то же время, существующих экономические и социальные причины данного явления [56]. Экономические причины связаны с объемом инвестиций, направленных на технологические приращения в экономике, а также тем, что из-за недостаточного объема применения цифровых решений в экономике, не происходит стимулирование развития профессиональных навыков и компетенций персонала и развития человеческого капитала в объемах, требуемой для цифровой экономики и перехода на новые технологические уклады [94].

Совокупность данных проявлений приводит к потребности в более детальном изучении влияния технологического контура. С позиции технологического контура, на передний план встают экономические проявления уровня технологического уклада, в части преобладания ручных и полуавтоматизированных операций на производствах, и социально-экономические проявления, в части доступности трудовой силы по трудоспособному половозрастному составу населения, численности рабочих мест на производствах и требований к навыкам и компетенциям.

Рассматривая данную ситуацию глубже, технологические приращения в экономике не носят массовый, рассредоточенный характер, а больше сконцентрированы вокруг экономических центров страны и ключевых предприятий в отраслях. В связи с этим, наблюдается увеличение технологических дисбалансов в промышленных отраслях экономики. В связи с этим, будет происходить трудовая миграция населения, вызванная не только индустриализацией страны, но и концентрацией ресурсов в экономических центрах страны.

Из предприятий регионального уровня квалифицированный персонал переходит на другие предприятия в другие регионы, в частности в экономически развитые регионы, где предлагаются не только более выгодные зарплатные предложения, а уровень и качество жизни выше. Таким образом создается ситуация, когда при текущих дисбалансах в технологических укладах предприятия приоритетно рассматривают варианты сохранения текущего уровня производительности или преодоления кризисных ситуаций, а население рассматривает варианты трудовой миграции в индустриально развитые города из-за нестабильной экономической ситуации и изменения внутренних трендов [64]. Из-за этого проявляется низкий коэффициент технологического замещения профессий и низкие показатели использования цифровых технологий в целом по стране.

Крупные предприятия непрерывно наращивают материально-техническую и научную базу и могут высвободить средства для реализации технологических приращений: осваивать новые станки и оборудование с большей эффективностью работы, оснащать рабочих новыми средствами и орудиями труда и т.д. Для региональных предприятий поле доступных возможностей меньше: нехватка свободных средств вынуждает предприятия обращаться за государственной поддержкой. Так, согласно данным Росстата, среднегодовая численность занятых по видам экономической деятельности с 2017 года (ОКВЭД2) в России меняется: наблюдается увеличение численности рабочих в офисных профессиях, строительстве, административной деятельности [6,60,87].

В части управленческого контура, длительный переход между технологическими укладами проявляется в том, что создается устойчивая конкурентная среда, как и внутри отраслей, так в экономике. Устойчивой конкурентной среде в России характерна политика протекционизма и импортозамещения, реализуемая органами исполнительной власти, разделение рынков между крупными производителями и производителями регионального уровня, снижение мотивации руководящего состава к

изменениям и реализация стратегий по удержанию доли рынка в существующих сегментах. Однако следует отметить, что данная ситуация постепенно изменяется в лучшую сторону. Согласно материалам доклада центра исследований структурной политики НИУ ВШЭ отмечается, сдвиг трендов: не только крупные предприятия стали фокусироваться на технологической модернизации и применении отдельных технологических достижений, а реализация национальных проектов оказывает стимулирующий и позитивный эффект на данные процессы [87].

Однако не полностью устраняется проблемы, вызванные устойчивой конкурентной средой. В частности, устойчивая конкурентная среда не стимулирует предприятия повышать качество продукции и улучшать производственные процессы. Задачи звена управления фокусируются на областях контроля и мониторинга за результатами операционной деятельности. Устойчивая среда не стимулирует руководителей предприятий к поиску резервов производительности труда, совершенствованию производственной культуры и цифровизации бизнес-процессов, так как отсутствует стимулы для конкурентной борьбы, так и для изменения бизнес-моделей для усиления конкурентных позиций.

Таким образом формируется противоречие между структурой экономики и требованиями конкурентной среды. Следствием промышленной революции является увеличение конкуренции на экономическом, политическом и социальном уровне. Конкуренция стимулирует предприятия искать новые способы повышения эффективности, происходит развитие производственных и экономических отношений, появляются новые цепочки стоимости. И основной экономики будущего является экономика знаний и инноваций с опорой на информационно-коммуникационные технологии. Исходя из этого, если не развивается направление технологического совершенствования в хозяйстве, то происходит откат к идеям фундаментализма, как и в области хозяйствования, так и в отношении к технологическим приращениям, в частности проявляться будет преобладание

традиционных способов производства, игнорирование инноваций, технологическая стагнация, устаревание станочного парка, сокращение потенциала экономических взаимоотношений между отраслями и т.д.

Анализируя содержательные аспекты управления производительностью труда, с авторской позиции выявлены следующие способы повышения производительности труда (рисунок 4):



Рисунок 4 – Способы повышения производительности труда
Источник: составлено автором по материалам исследования

На рисунке 4 изображена классификация и группировка способов повышения производительности труда. Производительность труда складывается из совокупного результата работы всех субъектов экономической деятельности в стране. Результативность работы определяется способами, инструментами и методами организации рабочего процесса, процесса производства, культуры производства и оптимизации производственных и офисных процессов. Повышение производительности труда включает в себя решение проблем и устранение потерь в производственных процессах, которые скрывают резервы производительности труда.

Повышение производительности труда достигается за счет устранения проблем в производственных процессах, сокращения цикла, изменения последовательности операций и т.д. Под резервом производительности труда, с авторской позиции, следует понимать количественное выражение затрат труда и финансовых средств, культуры производства, производственных отношений, временных ресурсов, материальных ресурсов, которые не участвуют в процессе производства продукции и не создают ценность для потребителя и организации.

Резерв производительности труда находится в нескольких областях одновременно: технологической, экономической, организационно-управленческой и качестве подготовки профессиональных кадров. На данные факторы оказывает определяющее воздействие текущий технологический уклад и стадия развития отраслевой структуры хозяйства. По мере достижения порога зрелости препятствием для роста являются ресурсные, технологические, структурные и институциональные ограничения:

- инфраструктурные ограничения: недостаточное развитие транспортной, энергетической, телекоммуникационной инфраструктуры, низкий уровень урбанизации;
- экономическая структура с низкой диверсификацией и низкой концентрацией отраслей с высокой добавленной стоимостью;
- технологическое отставание и низкий уровень человеческого капитала, что неизбежно отражается на низком уровне производительности труда и низким показателем глубины и емкости экономики;
- институциональные ограничения – слабое развитие финансовых институтов, системы государственного управления, правовой системы, отсутствие политической стабильности и т.д.;
- ресурсные ограничения и сильная зависимость от иностранных инвестиций, технологий и ресурсов.

1.3 Сквозные цифровые иммерсивные технологии как способ повышения производительности труда

Обеспечение устойчивости национальной экономики является одной из ключевых стратегических задач государства, решаемой посредством формирования целостного контура критически важных технологий. В этом контексте особую роль играет внедрение сквозных технологий, среди которых иммерсивные технологии дополненной и виртуальной реальности занимают существенное положение.

С методологической точки зрения, сквозные цифровые технологии представляют собой неотъемлемый элемент системы цифровых технологий, понимаемой как совокупность методов, инструментов и систем, оперирующих цифровыми данными для обработки, хранения, передачи и анализа информации. В рамках системного подхода цифровая экономика определяется как комплексная социально-экономическая экосистема, основанная на цифровых активах, где данные становятся ключевым фактором производства и конкурентного преимущества, а взаимодействие между экономическими агентами опосредовано цифровыми платформами. Генезис данной парадигмы связан с фундаментальной трансформацией, инициированной развитием вычислительной техники и средств коммуникации в XX веке, что привело к формированию нового технологического уклада.

С экономической точки зрения, сквозные цифровые технологии – это совокупность высокоуровневых научно-технических направлений, обладающих свойством трансверсальности, то есть способностью к интеграции и применению в нескольких секторах и отраслях экономики. Их диффузия оказывает мультипликативный эффект на развитие рыночных институтов, кардинально меняя структуру существующих и формируя новые рынки.

С точки зрения государственного управления, эти технологии являются объектом стратегического планирования и тесно интегрированы в реализацию

политики Национальной технологической инициативы (НТИ). НТИ – государственная программа, нацеленная на формирование принципиально новых рынков и обеспечение технологического лидерства России к 2035 году. Их системообразующая роль заключается в создании национального научно-технологического задела, который служит основой для формирования портфеля глобально конкурентоспособных продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Институциональное закрепление перечня ключевых сквозных технологий в государственной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» (распоряжение Правительства №1632-р) подчеркивает их значение как инфраструктурной основы для долгосрочного технологического суверенитета и устойчивого экономического роста.

Важным правовым и экономическим признанием их статуса стало Распоряжение Правительства №1484-р, которым сквозные цифровые технологии были приравнены к высокотехнологичным отраслям. Конкретизация этого курса нашла отражение в утверждении дорожной карты по развитию технологий дополненной и виртуальной реальности. Если до 2022 года данные технологии рассматривались преимущественно в исследовательском ключе, то после соответствующего поручения Президента РФ акцент сместился в плоскость практической реализации – создания конкретных продуктов и их интеграции в реальный сектор экономики.

Однако успешная интеграция требует глубокого понимания не только технологической, но и социально-экономической сущности происходящих изменений. Усиление глобальной конкуренции детерминирует необходимость фундаментального пересмотра бизнес-процессов. Ключевая цель такой трансформации – повышение операционной эффективности, производительности труда и устойчивости производственных систем в долгосрочной перспективе за счет технологического приращения.

Новая эпоха технологической модернизации становится катализатором трансформации управленческих подходов. Классические функции управления,

сформулированные А. Файолем и дополненные принципами научного менеджмента Ф. Тейлора, бюрократической моделью М. Вебера и теорией производительности Эмерсона, сохраняют свою актуальность как базис. Однако в условиях цифровой экономики они требуют существенной адаптации и расширения в связи с появлением экономики знаний, необходимостью формирования предикативных конкурентных преимуществ, перестройкой глобальных цепочек создания стоимости и реинжинирингом производственных процессов. Важно отметить, что, несмотря на акцент на технологиях в научной литературе в рассматриваемом контексте, ученые подчеркивают центральную роль человека. Речь идет о переосмыслении взаимодействия сотрудников с технологиями [49, 85], развитии интеллектуального труда в производственных цепочках [113] и внедрении прорывных промышленных [98] и цифровых решений [128].

В этом контексте новые производственные технологии (НПТ) определяются как комплекс процессов проектирования и изготовления, обеспечивающий выпуск продукции различной сложности при сохранении экономической эффективности, характерной для массового производства. Для поддержки разработчиков таких технологий в России сформирован комплексный институциональный механизм в рамках федерального проекта «Цифровые технологии».

Ключевую роль в его реализации играют уполномоченные операторы – институты развития, действующие по поручению Минцифры России. Меры государственной поддержки выстроены по принципу «инновационной воронки» и стадийности развития компании, что позволяет оказывать адресную помощь на разных этапах жизненного цикла проекта:

- Фонд содействия инновациям (ФСИ) ориентирован на ранние стадии, финансируя НИОКР и коммерциализацию продукта в ИТ-стартапах и МСП;

- Российский фонд развития информационных технологий (РФРИТ) поддерживает зрелые компании и крупные проекты по созданию комплексных

решений (программа «Разработка») и внедрению сквозных технологий в производственные процессы (программа «Цифровая трансформация»).

– Фонд «Сколково» выступает платформой для пилотного внедрения и апробации решений, финансируя тестирование и верификацию эффективности технологий.

Ключевым критерием отбора для всех программ поддержки является соответствие проектов стратегическим приоритетам, утвержденным Правительственной комиссией по цифровому развитию. Данный подход обеспечивает высокую согласованность мер государственной поддержки с стратегическими целями обеспечения технологического суверенитета и развития цифровой экономики Российской Федерации.

Необходимостью остается понимание глубины происходящих процессов, сущности социальных и экономических факторов, которые стимулируют технологическую динамику. Так, усиление глобальной технологической и промышленной конкуренции требует фундаментального пересмотра бизнес-процессов предприятий. Цель такой трансформации – повышение операционной эффективности, производительности труда и устойчивости производственных систем в долгосрочной перспективе. В рамках данных трансформаций формируется создаются новые цифровые стратегий, происходит слияние цифровых стратегий с бизнес-стратегиями [107], внедряются новые технологические изменения.

Новая эпоха технологической модернизации становится катализатором изменений в также и управленческих подходах. Классические функции управления, сформулированные А. Файолем и дополненные принципами научного менеджмента Ф. Тейлора, бюрократической моделью М. Вебера и теорией производительности Г. Эмерсона, сохраняют актуальность как базис. Однако в эпоху информационно-коммуникационных технологий в бизнесе они требуют расширения из-за: появления экономики знаний и данных, появлением новых содержательных задач в области управления, формирования предикативных конкурентных преимуществ, перестройка

цепочек создания стоимости и реинжиниринга производственных процессов [44,45]. В совместном исследовании В.Ф. Уколова, В.Я. Афанасьева, В.В. Черкасова отмечается, что цифровизация является не самоцелью, а вспомогательным инструментом реализации экономической стратегии и промышленной политики государства [105].

Пандемия COVID-19 в 2020 году стала катализатором ускоренной трансформации бизнеса в сторону технологического приращения. Однако она также усилила турбулентность цифровой среды из-за резкого роста динамичности рынков и непредсказуемости внешних условий. Цифровизация – глобальный тренд мировой экономики. Цифровизацию следует понимать, как:

- микроэкономическое явление, сопровождающееся изменениями существующих бизнес-моделей предприятий, нацеленных на повышение эффективности функционирования бизнеса, а также как стратегические преобразования бизнес-моделей с использованием информационных (цифровых) систем [90];

- макроэкономическое явление, отражающее процессы реализации массовых изменений принципов управления, взаимодействия и производства. Цифровизация затрагивает разные сферы бизнеса, обеспечивая фундаментальные изменения принципов работы предприятий и экономических отношений [18];

- социально-научное явление, характеризующее эволюционную парадигму развития социальных, экономических, научных, производственных и технологических процессов в обществе.

Традиционно реинжиниринг бизнес-процессов в промышленности осуществляется за счет организационно-управленческих (инструментальных) изменений (например, за счет внедрения принципов бережливого производства, оптимизация производственных потоков на основе теории ограничений систем). В долгосрочной перспективе инструментальные подходы к росту производительности труда ведут к исчерпанию резервов [11],

что актуализирует поиск новых источников роста, таких как цифровизация и автоматизация [8], а также запуск инновационных проектов.

Анализ теоретических основ управления проектами внедрения технологий в бизнес-процессы позволяет выделить их принципиальные отличия от традиционных проектных задач. Специфика обусловлена необходимостью одновременного решения задач технологической интеграции, организационного обучения и трансформации сложившихся трудовых практик. С точки зрения теории управления проектами, такие инициативы характеризуются повышенным уровнем неопределённости и риска, что требует применения адаптивных, гибких методологий. Классические каскадные модели оказываются недостаточно эффективными в условиях быстроменяющихся технологических и рыночных требований. В этой связи возрастает роль итеративных подходов, основанных на циклах планирования, реализации, контроля и корректировки, которые позволяют накапливать знания и последовательно снижать степень неопределённости [128].

В рамках теории менеджмента ключевой проблемой становится обеспечение организационной двойственности — способности предприятия поддерживать эффективность текущих операций при параллельном освоении радикальных нововведений. Управление подобными проектами требует создания специальных организационных структур (таких как проектные офисы с расширенными полномочиями), обладающих достаточной автономией для экспериментирования, но при этом тесно связанных со стратегическими целями организации.

Экономический аспект проявляется в особенностях оценки эффективности. Традиционные финансовые показатели могут не отражать стратегическую ценность создания новых компетенций, повышения гибкости производства и формирования долгосрочных конкурентных преимуществ [147]. Поэтому обоснование инвестиций требует комплексного подхода, учитывающего как прямые экономические эффекты (рост

производительности, снижение затрат), так и косвенные — развитие человеческого капитала, усиление инновационного потенциала и адаптационных возможностей предприятия.

Проекты внедрения иммерсивных технологий представляют собой комплексный объект управления, требующий синтеза принципов проектного менеджмента, теории организационных изменений и стратегического управления. Эффективность реализации данных проектов определяется не только техническим совершенством решений, но и способностью организации к внутренней трансформации, освоению новых знаний и перестройке бизнес-процессов в соответствии с логикой создаваемой технологической инновации, а также соответствии современным требованиям [168].

Эффективное управление инновационными проектами подобного типа сопряжено с необходимостью институционального разрешения фундаментального противоречия между двумя императивами организационного развития: требованием к сохранению надёжности и эффективности действующих процессов и потребностью в формировании пространства для стратегических преобразований. Традиционные организационные структуры, выстроенные по линейно-функциональному принципу и оптимизированные для контроля и воспроизводства стандартных операций, демонстрируют системную неспособность к генерации и абсорбции радикальных нововведений. Данное методологическое ограничение актуализирует задачу проектирования и внедрения новых форматов внутрифирменной организации — специализированных подразделений, проектных офисов или целевых центров компетенций, функционирующих на принципах матричного управления. Наделённые полномочиями на кросс-функциональную координацию, управление портфелем технологических экспериментов и трансляцию полученных результатов в операционную деятельность, такие подразделения выполняют связующую роль между институциональным уровнем и производственной системой.

В контексте концептуальных парадигм «Индустрия 4.0» и «Индустрия 5.0» процессы технологической модернизации детерминированы переходом к цифровой трансформации физического производства посредством внедрения киберфизических систем. Ключевым элементом данной трансформации выступают сквозные технологии, выполняющие роль инфраструктурной основы формирования интеллектуальных производственных экосистем (smart factories). В рамках парадигмы Индустрии 4.0 они обеспечивают синергетический эффект между человеческим, машинным и информационным капиталом, выступая катализатором операционной эффективности, автоматизации и децентрализации управления.

В то время как Индустрия 4.0 акцентирует технологическую диффузию в целях оптимизации производственных процессов и максимизации эффективности, Индустрия 5.0 ориентирована на формирование устойчивых, антропоцентричных бизнес-моделей, интегрирующих экологические и социальные аспекты. В данном контексте сквозные технологии трансформируются из инструмента операционной эффективности в механизм обеспечения гуманизации производства и устойчивого развития, формируя кооперативную среду между когнитивными способностями человека, творческим потенциалом и точностью машинных операций. Такой эволюционный сдвиг подчеркивает переход от технократической парадигмы к социально-технологической, где сквозные технологии становятся критическим элементом достижения не только экономической, но и социально-экологической резильентности производственных систем.

Исходя из данных наблюдений, можно выделить следующие тезисы:

1. Сквозные цифровые технологии – это стратегический актив и объект управления в рамках НТИ, ключевой элемент в достижении цели по созданию новых рынков и обеспечению технологического лидерства России; Для России именно синхронное развитие этих трех направлений является залогом успеха. Развивая сквозные технологии в рамках НТИ, создается задел для построения конкурентоспособной национальной экономики,

одновременно закладывая основы для перехода к человекоцентричной модели Индустрии 5.0, что в конечном итоге и обеспечит устойчивость и технологический суверенитет.

2. Развитие отечественных сквозных технологий и их внедрение в промышленность (как через НТИ, так и через программу «Цифровая экономика») снижает зависимость от иностранных решений и создает национальный научно-технологический задел;

3. Программы поддержки (ФСИ, РФРИТ, «Сколково») через финансирование проектов по сквозным технологиям создают спрос на разработки со стороны вузов и научных институтов, стимулируя коммерциализацию исследований.

Как справедливо отмечается в работе В.Д. Ардинова, Н.В. Чепаненко и А.А. Леонтьева, ключевым структурным ограничением экономического роста является низкая доля высокопроизводительных рабочих мест, обусловленная дефицитом инвестиций в инновации и технологическим отставанием [11]. Способность экономики к генерации и абсорбции инноваций (технологическая динамика) становится критическим условием ее конкурентоспособности. По прогнозам В.А. Садовниченко и А.А. Акаева с 2020 по 2040 гг. производительность труда в России может расти по 3% в год лишь при условии перехода от экстенсивного использования ресурсов к интенсивной модели, основанной на научно-техническом прогрессе и модернизации производственных фондов [8].

Указанная ситуация создает порочный круг: примитивизация структуры экономики подавляет спрос на инновации, а отсутствие инноваций консервирует низкотехнологичный уклад. Разрыв этот возможен только через целенаправленное технологическое приращение – процесс непрерывного внедрения и диффузии новых технологий в производственные процессы.

Данные статистического сборника «Цифровая экономика 2023» НИУ ВШЭ [17] свидетельствуют о росте валовых внутренних затрат на развитие цифровой экономики с уровня в 3324 млрд. руб. в 2017 г. до 4848 млрд. руб. в

2021 г. При этом уровень затрат организаций на цифровую экономику также возрос: с 1739 млрд. руб. в 2017 г. до 2947 млрд. руб. в 2021 г. Прогнозируется, что рынок цифровых решений для бизнеса будет расти на 30% ежегодно. Суммарный эффект от реализации программы цифровой экономики составит свыше 4 трлн руб. В докладе НИУ ВШЭ «Цифровая трансформация: эффекты и риски в новых условиях», отмечается, что вклад цифровых и сквозных технологий в ВПП России будет постепенно возрастать, и, по прогнозам, достигнет вклада в размере 10% ВВП, вклад сектора ИКТ к 2030 г. составит 1,8% ВВП, а валовая добавленная стоимость от продуктов ИКТ составит 4,9% ВВП (рисунок 5).

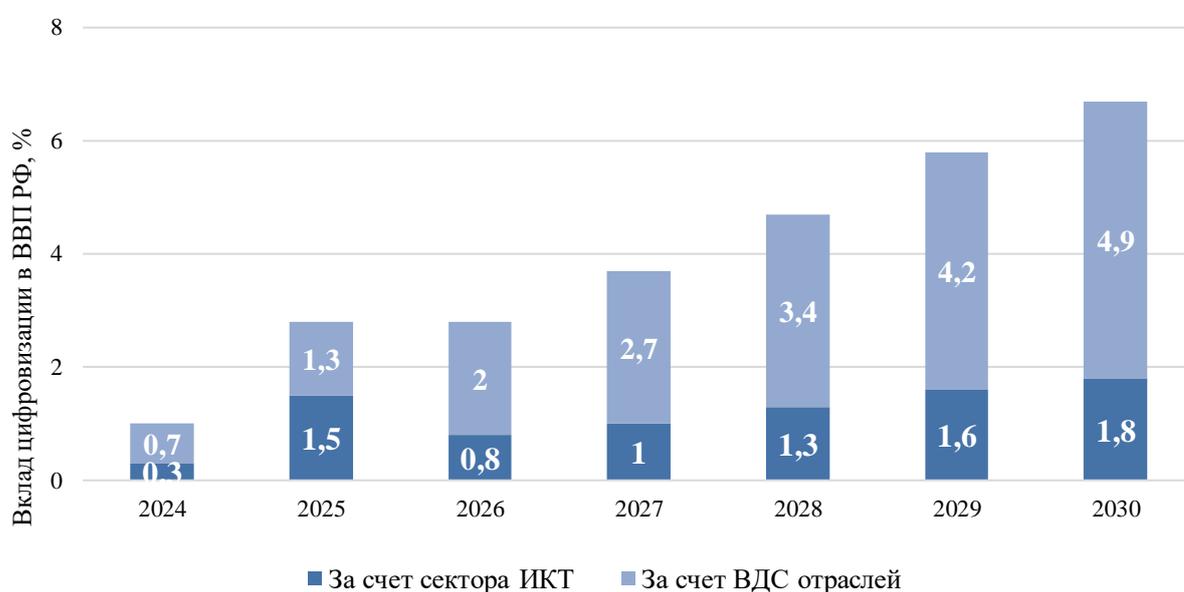


Рисунок 5 - Прогноз по вкладу цифровых технологий в прирост ВВП России, % [97]

Данный рисунок показывает, что прогнозируется рост ВВП России за счет продуктов отрасли ИКТ, а вслед за развитием ИКТ, разработки будет проникать в реальные сектора экономики.

Технологическое приращение (посредством внедрения сквозных технологий) в реальном секторе является системообразующим фактором преодоления стагнационных тенденций и обеспечения качественного экономического роста, выступая главным драйвером повышения совокупной

факторной производительности и формирования новых источников конкурентного преимущества на макро- и микроэкономическом уровнях. С.Д. Бодрунов, отмечает, что технологические преобразования в экономике необходимы. Производительность труда по мнению ученого складывается из совокупности реализуемых программ поддержки индустриальной экономики в стране, мотивацию предприятий в повышении производительности труда, а также программами импортозамещения, воссоздания и «освоевремения» производственных ниш [19,62].

Промышленные предприятия, в силу своей капиталоемкости, сложности процессов и экспортного потенциала, являются главным плацдармом для технологического приращения. Здесь даже локальное повышение эффективности на отдельных операциях дает синергетический эффект и значительную отдачу на масштаб [17]. Для них технологическая модернизация – это не опция, а стратегический императив для выживания в условиях глобальной конкуренции.

В условиях системных провалов рынка и низкой склонности бизнеса к риску в высокотехнологичных проектах, государственная политика становится главным катализатором. Так, Р.С. Гринберг рассматривает технологические революции как ключевой инструмент преодоления стагнационных тенденций в российской экономике, наблюдаемых с 2008 года. По его оценке, низкая производительность труда обусловлена системными противоречиями: примитивизацией структуры национальной экономики, где доминируют низкотехнологичные сектора и отсутствием устойчивого спроса на инновационную продукцию как на внутреннем, так и на глобальном рынках [27]. Экономика с развитым технологическим укладом характеризуется синергией между научно-техническим прогрессом, производственной эффективностью и устойчивым экономическим ростом.

Технологическое приращение на уровне предприятия не сводится к простой закупке оборудования. Оно требует реинжиниринга бизнес-процессов, оптимизации OPEX и CAPEX, внедрения гибких методов

управления и развития адаптивных компетенций персонала. Цель – создание конкурентоспособных производственных систем, где технология интегрирована в целостную систему создания ценности. В докладе НИУ ВШЭ «Новые контуры промышленной политики» подчеркивается, что современная российская промышленная политика ориентирована на устойчивость экономики, создание новых цепочек добавленной стоимости, развитие технологических и управленческих компетенций, а также стимулирование инноваций [86].

По результатам анализа подготовлена авторская классификация способов повышения производительности труда и перехода к цифровой экономике, выявлены резервы производительности на предприятиях, классифицированы технологии, позволяющие использовать резервы производительности (см. рисунок 6).

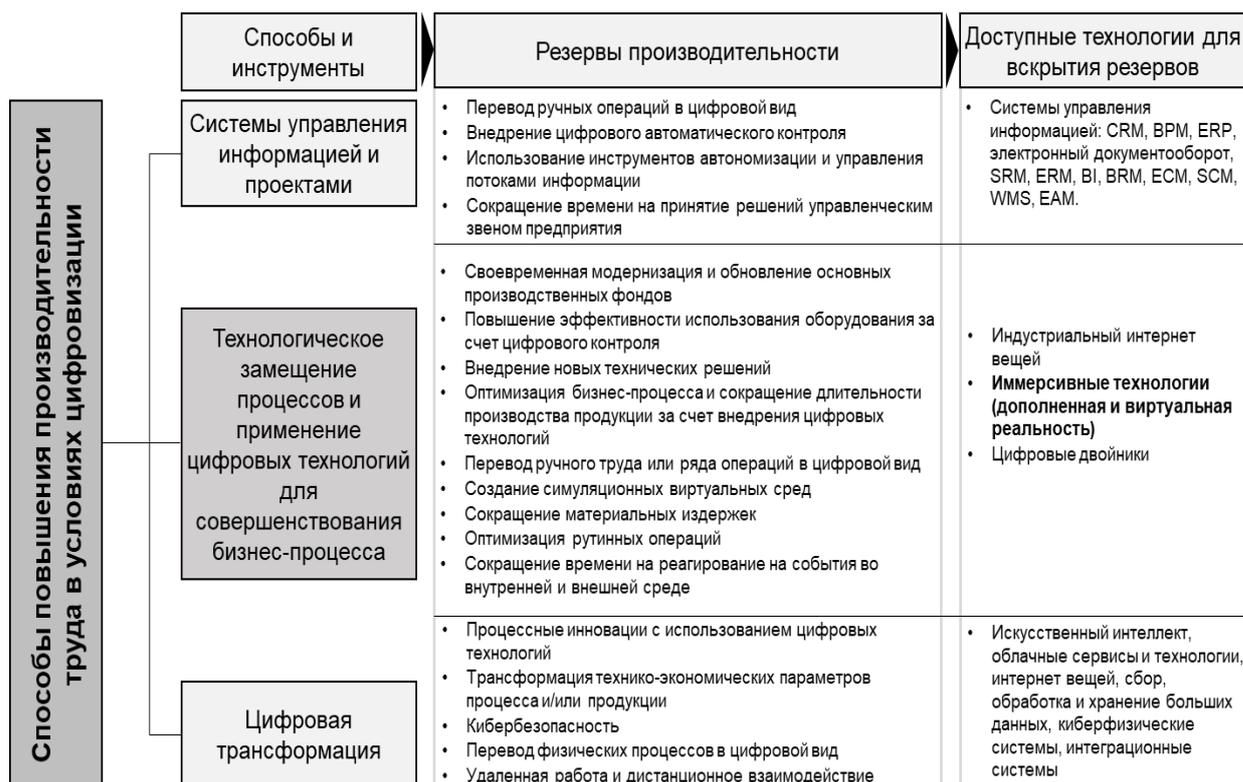


Рисунок 6 – Способы повышения производительности труда на предприятиях
 Источник: составлено автором по материалам исследования

Результаты проведенного анализа позволяют выделить три ключевых направления. Первое направление связано с внедрением цифровых систем

управления, которые фокусируются на использовании цифровых решений для повышения эффективности бизнес-процессов. Принципиальное отличие этого подхода – интеграция программного обеспечения на корпоративном уровне [51]. Второе направление – технологический апгрейд, выступающий драйвером процессных инноваций [48]. Третье направление – организационная трансформация, требующая пересмотра управленческих парадигм и бизнес-моделей.

Ряд исследований указывает на неэффективность экстенсивной модели роста в России после 2014 года [8, 11, 86]. Истощение ресурсной базы и низкая отдача от традиционных методов организации производства [38] требуют перехода к интенсивным методам, основанным на управлении факторами производительности, технологические и управленческие инновации [16]. Ключевым драйвером роста становятся сквозные технологии. Согласно докладу НИУ ВШЭ [96], 45% предприятий рассматривают цифровые технологии как основной инструмент для внедрения операционных и технологических инноваций. Эти выводы подтверждаются результатами доклада «Факторы роста производительности труда на предприятиях несырьевых секторов российской экономики» [96].

Таким образом, цифровизация выходит за рамки простой автоматизации бизнес-процессов. Она включает искусственный интеллект и анализ больших данных, цифровых двойников и экосистемы, интернет вещей (IoT) и робототехнику, иммерсивные технологии (виртуальная и дополненная реальность) и беспилотные системы, цифровое проектирование и моделирование. Эти изменения формируют новую парадигму управления производительностью труда, основанную на синтезе технологических возможностей и человеческого потенциала (см. Таблицу 1).

Таблица 1 – Теоретические основы трансформации трудовых отношений и производительности труда под влиянием сквозных иммерсивных технологий в промышленности

Теоретическая рамка	Описание
Ядро	
Школа системного менеджмента Ч. Бернарда и Д. Форрестера [57,106]	<ul style="list-style-type: none"> – цифровые технологии обеспечивают синергию подсистем (технической, социальной, управленческой); – организации превращаются в сети взаимодействующих элементов, где технологии обеспечивают горизонтальную координацию вместо вертикального контроля. Управление производительностью становится непрерывным процессом адаптации к эмерджентным свойствам системы; – системный подход трансформируется в управление киберфизическими системами, где ключевая задача – синхронизация социальных подсистем (человеческие потребности) и технических подсистем предприятия (сквозные технологии);
Характеризующая	
Теория человеческого капитала по Т. Шульцу и Г. Бекеру [124]	<ul style="list-style-type: none"> – иммерсивные технологии перераспределяют требования к навыкам, комбинируя автоматизацию рутинных операций с необходимостью цифровой грамотности; – комплементарность навыков: автоматизация рутины высвобождает время для развития креативных и управленческих компетенций; – эффективность цифровых технологий определяется не технологиями самими по себе, а их интеграцией в социальную ткань организации через баланс эффективности и человеческого капитала.
Марксистская теория стоимости [16]	<ul style="list-style-type: none"> – сдвиг в соотношении живого и овеществленного труда отражает переход к технологически интенсивному производству, где информационные технологии становятся формой капитала. Накопление избыточного продукта, превышающего текущие затраты, формирует основу для развития резервных и общественных фондов, формирующих предпосылки для технологического, интеллектуального и социально-экономического прогресса; – смещение в сторону преобладания материализованного труда (например, автоматизированных систем) над живым трудом (непосредственным участием человека) сохраняет потенциал роста производительности. Замена живого труда овеществленным трудом увеличивает выпуск продукции без пропорционального роста затрат; – регулирование этого баланса позволяет снижать совокупные трудовые затраты, даже при относительном увеличении доли прошлого труда. Переход к технологически интенсивному производству трансформирует понятие прибавочной стоимости: она генерируется не только живым трудом, но и алгоритмами.
Теория технологического принятия по Ф. Девису [130]	<ul style="list-style-type: none"> – внедрение цифровизации коррелирует с воспринимаемой полезностью и простотой использования, что определяет их адаптацию в промышленности; – помимо полезности и простоты, ключевыми факторами внедрения цифровых технологий в бизнес-процессы становятся факторы: социального-экономического влияния, организационная готовность (инфраструктура, бюджеты, корпоративная культура) и доверие к технологиям.

Теория распределения ресурсов по Д. Аджемоглу [130]	– цифровизация может как усиливать, так и снижать неравенство в уровне экономического развития стран в зависимости от институциональных условий.
---	--

Источник: составлено автором по материалам исследования

Исходя из данных теоретических границ, ключевыми механизмами роста производительности труда в описанных выше условиях следует считать:

- сокращение времени выполнения операций за счет применения элементов автоматизации, предиктивной аналитики, анализа данных, цифровой трансформации отдельных элементов процесса или бизнес-процесса в целом;
- минимизация ошибок через цифровой контроль качества (компьютерное зрение, датчики);
- применение новых практик и технологий обучения персонала, например, с помощью иммерсивных технологий виртуальной и дополненной реальности;
- оптимизация расхода производственных, трудовых и экономических ресурсов на основе данных интернета вещей и машинного обучения.

В экономике наблюдается одновременное действие экспоненциального роста совокупной факторной производительности и качественная трансформация трудовых функций (переход от эксплуатации физического капитала к управлению цифровыми активами). Данному состоянию экономики свойственно то, что вместе с изменением количества затрачиваемого труда, вовлекаемых орудий труда и механизации производства растет производительность труда.

Следует отметить и то, что происходит изменение качественного содержания труда: человек перестает быть оператором орудия труда, становясь звеном управления производственной эффективностью. Схематически данный процесс представлен на рисунке 7 (см. рисунок 7).

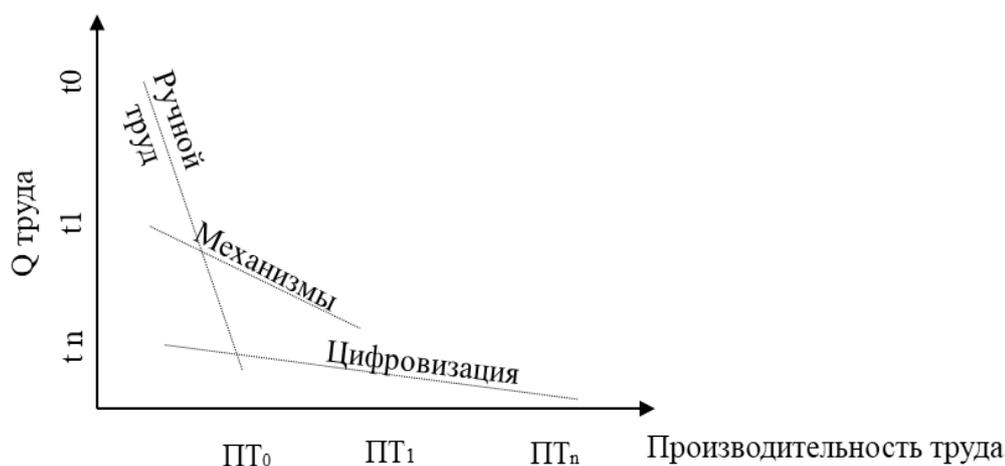
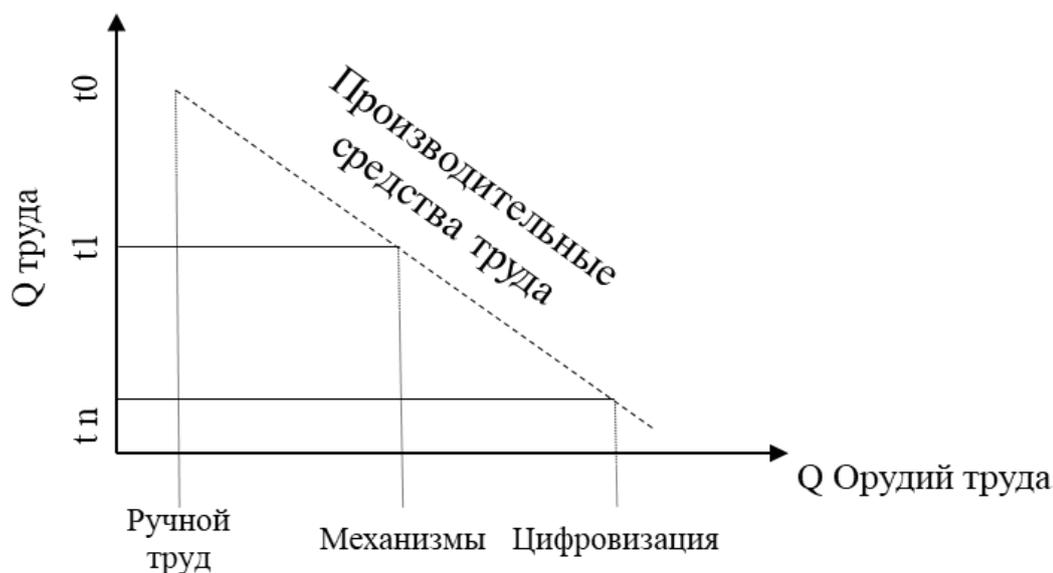


Рисунок 7 – Схема трансформации трудовых процессов в эпоху цифровой революции

Источник: составлено автором по материалам [13]

Каждый этап автоматизации не только сокращает прямые трудовые затраты, но и создает предпосылки для перехода к следующему технологическому уровню. При этом необходимо подчеркнуть, что с развитием трудовых процессов происходит усложнение содержания труда человека. В традиционных системах управления с преимущественным доминированием ручного труда, подходы к управлению производством и процессами производства концентрируются на оснащении каждого работника

необходимым количеством орудий труда. При этом производительность труда каждого элемента варьируется.

На современном этапе развития экономики, цифровые технологии в бизнесе стали обязательным элементом: затрагиваются традиционные и рутинные процессы, на основе данных принимаются решения, внедряются новые инструменты, методы управления процессами и методологии управления проектами на базе цифровых платформ, появились новые принципы организации труда.

Вместе с тем, преобразованиям подвергаются устоявшиеся принципы управления самой производительностью труда. Многие эксперты отмечают то, что большинство предприятий внедряют или уже внедрились технологии научной организации труда, из-за чего возникает ситуация с исчерпанием очевидных резервов производительности труда [70]. Научная организация труда ограничена тем, что применение доступного арсенала использования скрытых резервов производительности труда имеет границы – потенциально, после улучшения всех бизнес-процессов, предприятие исчерпывает источники роста производительности.

Цифровизация представляет собой ключевой этап эволюции производственных отношений и производительных сил в современной экономике. Исторический анализ динамики производительности труда, рассматриваемый в контексте теоретических моделей, демонстрирует системную трансформацию количественных параметров трудовых затрат и средств производства. По мере совершенствования средств труда, в процесс производства единицы изделия вовлекается все меньше производительного труда человека: ручной труд требовал максимум труда человека, механизация производства сократила количество труда, а наблюдаемое технологическое замещение и цифровизация процессов позволяют оптимизировать операции и вовлекать минимально необходимое число ресурсов для производства большего объема товара.

В применении сквозных цифровых технологий в производственных процессах скрыт потенциал повышения производительности: а) сокращение материальных издержек за счет точечной настройки производственного процесса; б) сокращение времени на принятие решений управленческим звеном предприятия и рабочими; в) оптимизации рутинных операций и замещения ручного труда за счет использования цифровых технологий; г) внедрения принципиально новых способов выполнения производственных работ с большим уровнем продуктивности.

1.4 Методические подходы к оценке производительности труда и эффективности применения сквозных цифровых технологий

Несмотря на существующий терминологический и методологический дуализм в оценке производительности труда, в рамках экономического анализа она правомерно рассматривается как интегральный индикатор эффективности аллокации ресурсов и зрелости экономических систем, требующий для своей оценки комплексного, многоуровневого подхода.

При оценке производительности труда наблюдается дихотомия нормативно-учетного и многофакторного подходов. Постсоветская школа нормативно-учетной парадигмы, рассматривает производительность труда как стоимостной показатель (например, выпуск продукции на единицу затрат труда или времени), что соответствует потребностям плановой и переходной экономик в агрегированных, сопоставимых показателях [32].

Зарубежная научная мысль опирается на многофакторное моделирование, рассматривая производительность (англ. labour productivity) в контексте совокупного влияния технологии, капиталовооруженности, человеческого капитала и институциональной среды, что адекватно задачам анализа в условиях постиндустриальной, цифровой экономики [37].

В рамках данного исследования правомерно утверждать о концептуальном синтезе категорий «продуктивность» (качественная

характеристика результативности) и «производительность» (количественная характеристика). Их дихотомия является в значительной степени искусственной с точки зрения макроэкономического анализа. В контексте оценки эффективности национальной экономики они выступают как взаимодополняющие и синергичные компоненты единого показателя эффективности, где рост продуктивности (качества, инновационности) является драйвером роста производительности (количества выпуска).

С авторской позиции, производительность труда трактуется как интегральный индикатор, который характеризует зрелость экономической системы на макроуровне, отражая ее способность генерировать добавленную стоимость с максимальной эффективностью и отражает эффективность аллокации ресурсов (труда, капитала, технологий) как на уровне национальной экономики в целом, так и на уровне отдельного предприятия (микро- и макроуровни).

Преодоление методологического дуализма и получение релевантных оценок требуют применения сложного, многоуровневого методологического аппарата, включающего:

- институциональный цикл мониторинга данных, включающего систематический сбор и верификацию данных уполномоченными структурами;

- Эконометрическую верификацию полученных данных математическими и статистическими методами, факторного анализа (например, через функцию Кобба-Дугласа или совокупной факторной производительности) для выявления истинных драйверов роста и определения их веса;

- Стратегическую и корректную экономическую интерпретацию полученных результатов в качестве модели экономического роста для выработки обоснованных мер государственной политики, направленных на стимулирование технологической диффузии и повышение качества человеческого капитала.

Методология измерения производительности труда в экономической науке базируется на фундаментальном принципе соотнесения результирующих показателей выпуска с объемом использованных производственных ресурсов. Данный подход реализуется через систему взаимосвязанных методологических парадигм, образующих целостный аналитический конструкт.

Методология измерения производительности труда в экономической науке базируется на фундаментальном принципе соотнесения результирующих показателей выпуска с объемом использованных производственных ресурсов. Данный подход реализуется через систему взаимосвязанных методологических парадигм, образующих целостный аналитический конструкт. Сам конструкт оценки дифференцируется по уровням экономического анализа.

На макроуровне применяется факторно-редуктивный подход, позволяющий декомпозировать вклад отдельных производственных факторов через построение производственных функций и расчет совокупной факторной производительности. Однако данный подход имеет существенное ограничение – тенденцию к игнорированию институциональных и социально-экономических детерминант производительности.

На микроуровне реализуется многокритериальный подход, интегрирующий: финансовые показатели эффективности, операционные метрики производственных процессов, параметры организационно-управленческой эффективности и индикаторы, отражающие уровень технологического развития.

Рассмотрим ключевые подходы к оценке производительности труда:

– Натуральный (стоимостной) подход применяется в макроэкономическом анализе. Результатом макроэкономического расчета производительности труда является отражение того, насколько эффективно

трудозатраты сочетаются с другими факторами производства и используются в производственном процессе;

– Натуральный (физический) подход, который позволяет на микроуровне оценить эффективность производства однородной продукции. Он оперирует физическими единицами выпуска в расчете на единицу труда, что обеспечивает высокую объективность, но ограничен рамками отдельных операций или видов продукции [25];

– Нормативно-трудовой подход, измеряющий производительность через соотношение фактических затрат времени на выпуск единицы продукции к установленным технически обоснованным нормам. Данный подход наиболее релевантен для операционного менеджмента и анализа эффективности использования рабочего времени, однако его применение требует развитой системы нормирования.

Наиболее распространены методики расчета:

1. Организации экономического сотрудничества и развития (Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD, ОЭСР), где производительность выражается через отношение ВВП страны к количеству отработанных часов на человека (1);

$$\text{Производительность труда ОЭСР} = \frac{\text{ВВП, долл. США}}{\text{Отработанное время, часы}} \quad (1)$$

2. Международной организация труда Организации объединенных наций (International Labour Organization, ILO, МОТ), где производительность выражается через отношение ВВП страны к общей численности занятых в экономике (2);

$$\text{Производительность труда МОТ} = \frac{\text{ВВП, долл. США}}{\text{Общая численность занятых, чел.}} \quad (2)$$

В Российской Федерации применяется два подхода к расчету производительности труда на микро и макроуровне [42]:

3. Индекс производительности труда Росстата (утверждена приказом Росстата от 20 декабря 2013 г. № 492 и переутверждена по ОКВЭД-2 приказом Росстата от 28 апреля 2018г. № 274 [5]). Индекс выражается через отношение физического объема ВВП к индексу совокупных затрат труда. По данной методике представлено два варианта расчета: а) через отношение объема отгруженных товаров в условных единицах к фонду рабочего времени (дни, часы) и б) через отношение объема отгруженных товаров в условных единицах к среднесписочной численности персонала, чел. (3).

$$\text{ИПТ} = \frac{I_{\text{ВВП}}}{I_{\text{затрат труда}}} * 100\% \quad (3), \text{ где}$$

$I_{\text{ВВП}}$ – индекс физического объема ВВП периода t к периоду $t - 1$;

$I_{\text{ЗТ}}$ – индекс совокупных затрат труда периода t к периоду $t - 1$.

Особенности расчета данного показателя отмечает И.И. Елисеева: при проведении межотраслевого многофакторного анализа используется соотношение динамики выпуска продукции в натуральном выражении к динамике рабочей силы в экономике, нежели сам показатель выработки на одного рабочего в единицу времени [32];

4. Методика расчета производительности труда Министерства экономического развития РФ. Приказ Минэкономразвития России от 28.12.2018 № 748 [4] утверждает нормативные принципы расчета производительности труда в рамках национального проекта «Производительность труда и поддержка занятости» через отношение добавленной стоимости в руб. к среднесписочной численности персонала, чел. [4,25,33] (4).

$$\text{Производительность труда} = \frac{\text{Добавленная стоимость, руб.}}{\text{Среднесписочная численность, чел.}} \quad (4)$$

Добавленная стоимость может рассчитываться в соответствии с правилами Международного стандарта финансовой отчетности (МСФО), так и для случаев отсутствия консолидированной финансовой отчетности по

МСФО. В первом случае добавленная стоимость рассчитывается в рублях как сумма операционной прибыли предприятия, включая прибыль от субсидий и грантов. В иных случаях добавленная стоимость является суммой прибыли предприятия за вычетом расходов на оплату труда, страховых выплат, налогов и сборов, и амортизации основных средств и нематериальных активов.

Исходя из данных методик, отметить следует, что производительность труда репрезентирует не только натуральные показатели выпуска продукции, но и оценивает качественные параметры продукции, а также уровень создаваемой добавленной стоимости персоналом. Рассматривая производительность труда в частных проявлениях. Так, к таким подходам следует относить вариации расчета производительности через:

5. Стоимостные (выработка на одного человека) и натуральные расчеты выработки в у.е. (выработка за рассматриваемый период) (5);

$$\text{ПТ} = \frac{\text{Объем отгруженных товаров, у. е.}}{\text{Фонд рабочего времени, часы, дни}}$$
$$\text{ПТ} = \frac{\text{Объем отгруженных товаров, у. е.}}{\text{Среднесписочная численность персонала, чел.}} \quad (5)$$

6. Расчет трудоемкости для определения количественного выражения затрат труда, выраженного через отношение фонда оплаты труда в у.е. к стоимости произведенной продукции в у.е. в стоимостном методе и через отношение затрат времени всего персонала к объему произведенной продукции в натуральном подходе;

7. Математические методы оценки, например посредством применения функции Кобба-Дугласа, экономической модели Р. Солоу и др. [34,68,154];

8. Финансовые методы оценки производительности посредством применения показателя возврата на инвестиции (Return on investment, ROI), срока окупаемости, расчет эффекта операционного рычага, рентабельность проекта, себестоимость производства единицы изделия и др.;

9. В части нормативно-трудового подхода происходит сопоставление фактических затрат труда, времени, средств и ресурсов с нормативными. Отклонение показателя от нормативного и их разница показывает отклонение или превышение производительности одного человека и др. способы. В частности, применяются показатели времени длительности бизнес-процессов, количество труда, уровень брака, качество и количество вовремя произведенных материалов и др. показатели, характеризующие эффективность потока создания ценности.

В рамках экономического анализа производительности труда наблюдается устойчивая иерархическая взаимосвязь между микро- и макроуровнями. На микроуровне (уровне отдельного рабочего, станка, производственной линии) формируется первичный потенциал эффективности – оптимизируются отдельные трудовые операции и технологические процессы. Совокупность этих микропоказателей агрегируется в показатель выработки на одного занятого, который является ключевым индикатором эффективности использования трудовых ресурсов на предприятии. Реализованная продукция, произведенная с данной эффективностью, трансформируется в добавленную стоимость. На макроуровне происходит суммирование добавленной стоимости всех хозяйствующих субъектов, что в итоге формирует валовой внутренний продукт (ВВП). Именно поэтому важнейший источник производительности труда – непосредственно само создание материальных ценностей в процессе преобразования сырья и материалов на уровне промышленности.

Таким образом, цепочка формирования производительности носит кумулятивный и восходящий характер: от операционной эффективности на микроуровне к совокупной экономической эффективности на уровне национальной экономики. Следовательно, эффективность одной трудовой операции может повышена за счет рассмотренных способов и инструментов повышения производительности (см. рисунок 5,6,7). Производительность в цифровой экономике есть функция не от объема ресурсов, а от эффективности

их цифровой трансформации и способности к генерации сетевых синергетических эффектов из-за чего требуется пересмотр экономических доктрин.

Задел эффективности (в контексте сквозных и цифровых технологий) создается на отдельной трудовой операции за счет: применения более производительных способов выполнения трудовой операции, высвобождения полезного времени, сокращения трудоемкости операций и технологического замещения самих трудовых операций. Тем самым, рассмотренные ранее способы повышения производительности труда посредством сквозных технологий осуществляют глубинную трансформацию самой парадигмы производительности, выходя далеко за рамки инструментов ее измерения. Они создают синергетический мультипликативный эффект, проявляющийся на всех уровнях экономической системы.

Проведенный анализ методов оценки производительности труда позволяет сделать вывод, что не все из них в равной степени применимы для оценки эффектов внедрения сквозных цифровых иммерсивных технологий, включая технологии дополненной и виртуальной реальности. Методы, ориентированные исключительно на агрегированные макроэкономические показатели либо на стоимостные результаты без учета изменений трудовых процессов, не позволяют зафиксировать трансформацию операционной деятельности и изменение характера трудовых функций, возникающие при использовании цифровых технологий. В этой связи для целей настоящего исследования приоритетным является использование методических подходов, основанных на анализе временных, операционных и процессных показателей производительности труда, дополняемых оценкой адаптационных характеристик персонала. Данный выбор обусловлен спецификой AR/VR-технологий, оказывающих влияние не только на результат труда, но и на содержание, структуру и организацию трудовых операций, что предопределяет необходимость применения комбинированного подхода к оценке их эффективности.

Формируется новая методологическая платформа, основанная на следующих принципах: трансформации факторов производства (сквозные и цифровые технологии выступают не просто капиталом, а мета-технологиями, трансформирующими природу традиционных факторов), многоуровневой архитектурой измерений и взаимосвязей субъектов экономической деятельности.

Выводы по главе 1

В результате анализа теоретических аспектов производительности труда выявлено, что ее эволюция от классических политэкономических концепций к современным многофакторным моделям подчеркивает роль цифровизации как ключевого драйвера роста производительности. В рамках исследования были систематизированы подходы к определению производительности труда, структурированы факторы ее роста (технологические, управленческие, социальные) и выявлены резервы повышения. Особое внимание уделено способам оптимизации производительности в условиях цифровизации, включая технологическое замещение рутинных бизнес-процессов.

Анализ современных научных концепций позволил сформулировать авторское определение производительности труда: производительность труда на текущем этапе – это показатель, отражающий эффективность трудовых затрат и измеряемый объемом продукции в денежном выражении, произведенной одним работником за фиксированный период времени.

Производительность труда – системообразующий макроэкономический индикатор, квантифицирующий результативность и эффективность трансформационной функции экономической системы. С методологической точки зрения, производительность труда репрезентирует не только объемные показатели выпуска, но и качественные параметры продукции, а также уровень создаваемой добавленной стоимости.

Высокая и растущая производительность труда является ключевым драйвером долгосрочного экономического роста и свидетельствует о способности экономики генерировать возрастающие объемы добавленной стоимости на основе интенсивных факторов развития (технологические инновации, повышение квалификации рабочей силы, оптимизация управления и организации производства), а не только за счет экстенсивного наращивания ресурсов.

В российской практике сохраняется дисбаланс между декларируемыми целями интенсивного роста и структурными ограничениями: доминирование экстенсивных методов, архаизация основных фондов и дефицит инвестиций в человеческий капитал. Несмотря на частичную положительную динамику, латентное отставание производительности РФ от индустриально-развитых стран актуализирует необходимость ревизии управленческих подходов с акцентом на синергию технологических приращений (НИОКР, цифровизация).

Сквозные цифровые иммерсивные технологии не просто повышают производительность, но коренным образом меняют ее природу, создавая новую экономическую реальность, где ценность создается через интеграцию данных, технологий и человеческого капитала в единую цифровую экосистему. Таким образом, формируется управленческая проблема поиска оптимальных инструментов повышения производительности труда в условиях цифровизации. Предприятиям необходимо сочетать внедрение технологических новшеств с развитием человеческого капитала. Устойчивый рост возможен только через интеграцию технических и социальных аспектов, что позволит укрепить конкурентные позиции на рынке. Важно понимать: цифровизация – инструмент для достижения качественных изменений в производительности труда.

ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ ИММЕРСИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЦЕЛЯХ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА

2.1 Формирование и развитие иммерсивных сквозных технологий дополненной и виртуальной реальности в экономическом контуре

Одним из инструментов повышения производительности труда являются сквозные иммерсивные технологии графического представления и передачи информации на специальное устройство: дополненная реальность (англ. augmented reality, AR) и виртуальная реальность (англ. virtual reality, VR). Иммерсивными технологиями называются цифровые технологии, которые обладают свойством симулировать, эмулировать реальный мир и его элементы, но в цифровом пространстве [115,117]. Иммерсивность, в свою очередь является способом восприятия информации с эффективным полным погружением в искусственно созданную среду.

Виртуальная реальность – сквозная цифровая технология для передачи изображения на графический дисплей в очках или в шлеме. В очки или шлем установлен гироскоп и акселерометр для отслеживания скорости поворота головы, угла наклона головы и с учетом положения пользователя в пространстве изменяет изображение. Изображение создается за счет создания графических материалов в специальной программе.

Дополненная реальность – сквозная цифровая технология наложения трехмерных объектов поверх реальной среды. Для вывода графического изображения необходимо наличие цифрового объекта, устройства для считывания (очки, камера) и метки для воспроизводства изображения или видеоряда. Виртуальная и дополненная реальность являются одними из самых новых технологий. Активное применение и тиражирование лучших практик применения AR/VR началось только в 2010-е гг.

История технологий дополненной и виртуальной реальности началась в 1838 г. благодаря стереоскопу Ч. Уитсона – аппарату с двумя зеркалами для проецирования 3D изображения. В 1939 г. У. Грубер и Г. Грейвс представили очки со стереоскопическим 3D-эффектом View-Master. В 1960 г. М. Хейлиг разработал дисплей Sensorama, способный передавать аудио, видео сигналы, вибрации, запахи, что позволяло смоделировать виртуальную среду с большей степенью погружения.

В 1961 г. технологию Sensorama доработали в компании Philco, представив очки дополненной реальности с дисплеем Headsight с возможностью мониторинга действий человека. Появился первый коммерческий заказчик – армия США, которые использовали Headsight для обучения и подготовки специалистов поведению и отработке саперных действий в условиях опасных ситуаций за счет симуляции внешней среды.

В 1960-70-х гг. благодаря исследованиям А. Сазерленда различных аспектов теории и существующей практики применения иммерсивных технологий были определены ключевые принципы виртуальной и дополненной реальности: а) виртуальный мир проецируется на устройство графического воспроизведения; б) устройство воспроизведения одевается на голову пользователя; в) компьютерное оборудование проецирует и обрабатывает данные об окружающем мире или считывает данные для воспроизведения из заложенной программы; г) взаимодействие пользователя с виртуальными объектами в реальном мире [117, 119].

Данные тезисы Сазерленда А. стали теоретическим фундаментом самой концепции иммерсивных технологий. На основании данных положений он в 1965 г. представил первый прототип очков виртуальной реальности, способные воспроизводить сложные смоделированные сценарии [119]. В 1968 г. разработка устройств виртуальной реальности была профинансирована NASA, Министерством обороны США и Национальным научным фондом США. Пользователь мог взаимодействовать с объектами, получать графические и аудио материалы. При этом, все движения пользователя

отслеживались для имитации движения головы человека и изменения видеоряда, в соответствии с изменением поля зрения и фокусировки пользователя [136].

Начиная с середины XX века, технологии дополненной и виртуальной реальности преимущественно применялись в военной промышленности. Используя доступные наработки, инженер ВВС США Т. Фернесс разрабатывает в 1966 г. виртуальный симулятор для пилотов. Данная модель применялась для обучения пилотов и фундаментально определила одну из функций технологий виртуальной реальности – обучение человека в виртуальной среде. В 1972 г. корпорация General Electric построила компьютеризированный симулятор полета, который имел 180-градусное поле зрения с использованием трех экранов вокруг кабины. В 1979 г. корпорация McDonnell-Douglas интегрировала VR в свой шлем VITAL для виртуальной тренировки пилотов [166].

В последующие года многие лаборатории, исследовательские институты и промышленные компании развивали концепцию виртуальной и дополненной реальности на базе носимых и портативных компьютерных устройств. Период 1970-1990-х гг. характеризовался развитием аппаратной части устройств виртуальной и дополненной реальности. Технологический прорыв произошел в 1975 г. благодаря инженеру М. Крюгеру. Он разработал устройство VIDEOPLACE, которое позволяло человеку взаимодействовать с виртуальными объектами через тактильные перчатки. Тем самым, был реализован один из принципов виртуальной реальности – возможность взаимодействия с цифровыми объектами. В 1970-х годах Массачусетский технологический институт создал Aspen Movie Map – виртуальную экскурсию по улицам г. Аспена, которая стала прототипом дальнейших решений по виртуальному представлению окружения.

В 1980-х годах появились новые технологии, улучшающие восприятие виртуальной реальности. Первая компания, которая начала продавать очки и перчатки виртуальной реальности стала VPL Research Inc (основана в 1985 г.)

для индустрии развлечений и кинематографа. В 1991 г. в NASA ученым А. Медина была разработана система виртуальной реальности для управления роботами-марсоходами в реальном времени без существенной задержки сигнала с Земли.

В соответствии с данной периодизацией, определились три направления исследований потенциала AR/VR: промышленное применение, применение в индустрии развлечений и научно-прикладное направление исследований. Одним из наиболее значимых исследований, посвященных концепции AR/VR в практическом и промышленном применении, является совместный труд П. Милграма, Х. Такемуры, А. Утсуми, Ф. Кишино [158]. В совместном исследовании были классифицированы ключевые отличия и особенности AR/VR: устройства виртуальной реальности замещают и имитируют объекты реального мира, полностью отсекая его, а устройства дополненной реальности – только дополняют внешнее окружение цифровыми объектами. Тогда же, было утверждено ключевое отличие AR от VR технологий: при применении виртуальной реальности человек видит только цифровой мир, а при дополненной реальности – реальный мир, но с цифровыми объектами.

Начиная с 2000-х годов, развитие AR/VR технологий обеспечивалось за счет индустрии развлечений и кинематографа. Изначальные предположения ученых, что представленные ранее разработки AR/VR имеют сугубо ограниченную область применения, не подтвердился. Анализ практики применения технологий виртуальной и дополненной реальности основывался только на изучении опыта нескольких компаний: Boeing, NASA, BBC США. То есть тех компаний и структур, у которых уже был производственный опыт использования виртуальной и дополненной реальности. Но следует заметить, что индустрия развлечений является только первым этапом внедрения виртуальной и дополненной реальности в реальный сектор экономики.

Интерпретация изложенных периодов и ключевых событий представлена на рисунке 8 (см. рис. 8).

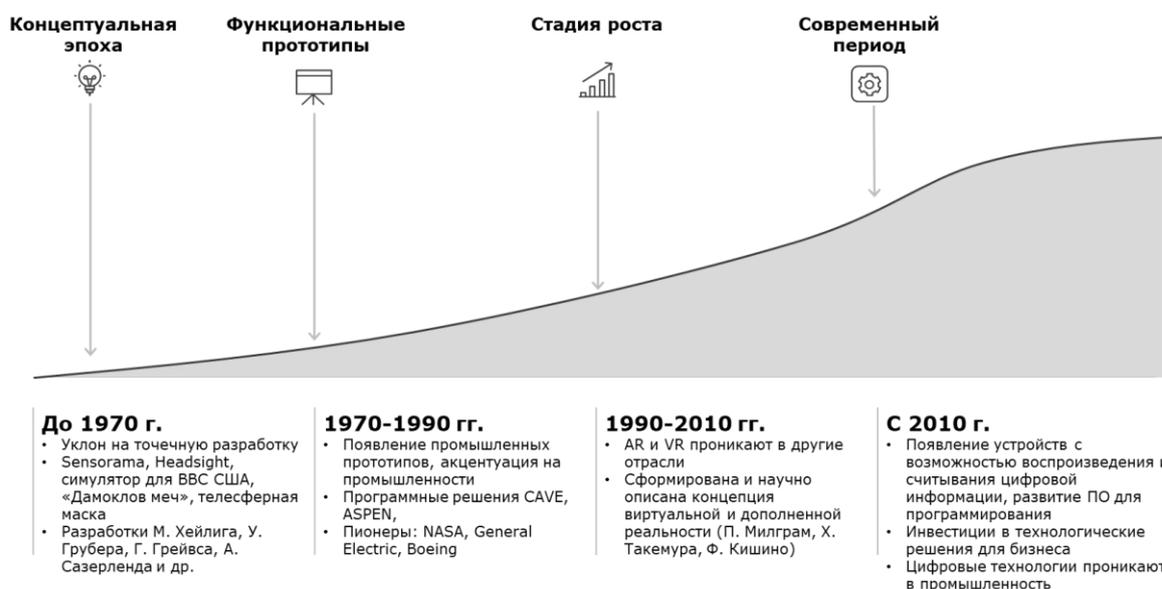


Рисунок 8 – Интерпретация периодизации этапов развития технологий дополненной и виртуальной реальности

Источник: составлено автором по материалам исследования

Начиная с 2010-х годов из-за роста инвестиций в технологический сектор и перспективных технологий виртуальная и дополненная реальность получают новый виток развития. В настоящий момент, по оценке международной исследовательской компании Data Bridge Market Research, к концу 2023 г. мировой рынок технологий AR/VR оценивается почти в 6 млрд долл. США, прогнозируемый размер рынка в 2031 г. составит 397,20 млрд долл. США, среднегодовой темп прироста – 69% [178].

Другую оценку приводит Mordor Intelligence, согласно которой объем рынка иммерсивных технологий оценивается в 42,48 миллиарда долларов США в 2024 году и достигнет 248,38 миллиарда долларов США к 2029 году, а среднегодовой темп роста составит 42,36%. Международная исследовательская организация Markets and Markets оценивает рынок AR/VR решений в 22,21 млрд долл. США в 2024 г., и 96,32 млрд долл. США. в 2029 г.

О.Б. Иваненко и А.О. Степанова отмечают, что объем венчурных инвестиций в технологии виртуальной и дополненной реальности в 2011 г. составлял 2 млрд долл. США, в 2021 г. – уже 12 млрд долл. США, рост

венчурных инвестиций увеличился в 6 раз [38]. Ключевое направление инвестиций – иммерсивные технологии в производстве.

В исследовании российского рынка AR/VR компаниями Huawei и «ТМТ-Консалтинг», отмечалось, что в 2020 году основной спрос на иммерсивные решения в этой области формировался коммерческими организациями, из них подавляющее большинство предприятия промышленной сферы. На долю сегмента B2B приходится 70% рынка, что показывает востребованность технологий в бизнес-сегменте, и основной драйвер роста – коммерческие решения, а также то, что технологии виртуальной и дополненной реальности создают уникальный цифровой контент и пользовательский опыт, который не могут предоставить другие решения.

Не смотря на различия в оценке прогнозируемого объема рынка из-за разного методологического аппарата, исследовательские компании сходятся во многих моментах: драйверы роста рынка, источники роста, направления технологических разработок, области и индустрии применения AR/VR схожи. Основными источниками роста рынка будет являться промышленно развитые страны Европы, Северная Америка, Азиатско-Тихоокеанский регион. Ключевым драйвером роста данных технологий становится развитие электротехники и портативных мобильных и носимых устройств, спрос сектора B2B и промышленных компаний на новые промышленные, цифровые и сквозные технологии.

В целях систематизации и классификации данных об индустрии дополненной и виртуальной реальности (как орудия, инструмента или средства труда) следует выделить отличительные характеристики устройств мультимедийного воспроизведения. Устройства AR предполагают: а) моно или бинокулярные очки с непрозрачным экраном с небольшим весом самой гарнитуры; б) акустические, гироскопические устройства, камера и модули совместимости; в) аккумуляторная зарядка с низкой продолжительностью длительного воспроизведения; г) хранение небольшого объема данных о

проецируемом объекте на внутреннем носителе информации. В настоящий момент крупными поставщиками гарнитуры являются: Nvidia, Realwear, Microsoft Hololens, ODG, Oculus, Lenovo, Google, Epson, Valve, HP, HTC, Google, Ather, Sony, Vuzix, Oculus, SKM, Deus, Magic Leap, Samsung, Ryot, Antilatency, ODG, Nullspace VR и др.

Операционализация технологии дополненной реальности представлена на рисунке (см. рис. 9). Отметить следует, что, в рамках исследования, под операционализацией следует понимать процесс и результат процесса перевода теоретических границ и связей рассматриваемого объекта и предмета исследования в эмпирические границы исследования.



Рисунок 9 – Операционализация технологии дополненной реальности

Источник: составлено автором по материалам исследования

Устройства VR предполагают: а) массивный шлем или портативные очки с непрозрачным экраном; б) акустические, гироскопические устройства, камера и модули совместимости; в) мощный аккумулятор или батарея, способная поддерживать длительные сеансы; г) хранение большого объема любой информации на внешнем носителе и внутренней карте памяти. Ключевыми поставщиками являются: HTC Vive, Lenovo, Samsung, Sony, Xiaomi, Oculus, Epson, Google, Valve, Apple, Toshiba, Realwear и др.

Операционализация технологии виртуальной реальности представлена на рисунке (см. рис. 10).



Рисунок 10 – Операционализация технологии виртуальной реальности

Источник: составлено автором по материалам исследования

К 2020 году использование AR и VR технологий широко применяется во многих отраслях: производство, образование, здравоохранение, строительство, общественный порядок и т.д. В настоящий момент, цель применения технологий дополненной и виртуальной реальности заключается в оптимизации определенной операции в потоке создания ценности. Операции по созданию ценности могут находиться в области основных, вспомогательных и обеспечивающих процессов.

Виртуальная и дополненная реальность являются ключом к новому уровню взаимодействия между человеком и цифровым миром – создается новая киберфизическая система. В рамках рассматриваемой области исследования, основной фокус внимания уделен применению AR/VR в промышленности, так как полный потенциал данных технологий полноценно не раскрыт. Существующие исследования направлены лишь на частичное рассмотрение опыта определенной компании в конкретном бизнес-процессе.

Акцентуация на промышленности, подчеркнутая в исследованиях Data Bridge Market Research, Markets and Markets, Mordor Intelligence и др. определяется следующими положениями:

- проникновением сквозных технологий в производственные процессы и сменой парадигмы управления посредством технологических решений [132];

- развитием аппаратной части и снижением стоимости обслуживания технологий на всех стадиях и этапах разработки;

- изменением отношения бизнеса к иммерсивным технологиям (теория технологического принятия Ф. Девиса).

Внедрение иммерсивных технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности оказывает комплексное мультипликативное воздействие на ключевые экономические и управленческие показатели компаний, выступая катализатором повышения операционной эффективности и производительности посредством:

- Оптимизации издержек и капитальных расходов на развитие человеческого капитала за счет цифровизации обучения персонала, применения виртуальных тренажеров, применения цифровых инструкций [147,158,170,174];

- сокращения расходов на физическое прототипирование через использование виртуальной подсистемы совместного пользования, что ускоряет цикл разработки и снижая стоимость итераций [152,178];

- стандартизация последовательности выполнения рабочих процессов с возможностью получения информации о состоянии и качестве результата труда в реальном времени [114,147]

- визуализация и симуляция складских помещений, маршрутов и технологических процессов позволяют идентифицировать и устранить узкие места, что ведет к прямому сокращению транспортных и складских издержек

(поиск позиций, сканирование кодов и т.д.) и повышает уровень промышленной безопасности [152, 178];

– иммерсивные технологии выступают платформой для апробации новых идей и нестандартных подходов к решению сложных производственных задач. В частности, существуют опции интеграции создает среду для непрерывных улучшений [113, 114].

По результатам исследования с авторской позиции уточнено понятие виртуальной реальности – иммерсивной цифровой технологии для создания техническими средствами мира, воспринимаемого человеком как объективная реальность через органы чувств; дополненной реальности» - иммерсивной цифровой технологии для добавления цифровых (мнимых) объектов к реальности без полного замещения элементов реального мира виртуальными.

Технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности представляют собой инновационный инструментарий, обладающий значительным потенциалом для трансформации производственных систем промышленных предприятий. Их внедрение способствует существенной оптимизации операционных процессов, минимизации издержек по ключевым статьям (проектирование, логистика, человеческий капитал), а также формированию новых моделей организации труда, включая эффективные дистанционные форматы взаимодействия, через описанный выше механизм.

2.2 Систематизация ролей и функций технологий дополненной и виртуальной реальности в промышленности

К настоящему времени определилось два направления исследований иммерсивных технологий: экономическое и техническое. Экономическое направление исследований связано с определением экономического потенциала применения данных технологий в промышленности, влияния на производительность труда, уровень технологической и цифровой трансформации субъектов экономической деятельности. Как отмечается в

исследовании А.И. Соснило, технологии виртуальной и дополненной реальности в историческом контексте рассматриваются больше с инструментальной и методологической точек зрения [91]. Основные исследования направлены на изучение конкретного опыта применения виртуальной и дополненной реальности на ведущих предприятиях в мире.

Первостепенное значение для решения поставленных задач имеют исследования применения иммерсивных технологий. При этом многие работы отечественных и зарубежных ученых и исследователей рассматривают опыт ограниченного числа предприятий, которые успешно внедрили данные технологии, в основе анализа лежит обобщение опыта и акцент на трансформационной стороне бизнес-процесса, нежели на принципах развития производственных систем посредством внедрения иммерсивных технологий.

В целях обоснования внедрения AR/VR на промышленных предприятиях для использования резервов производительности труда был проанализирован и рассмотрен опыт и практика применения AR/VR технологий в промышленности. Среди отечественных промышленных компаний выделяется опыт применения AR/VR: ПАО «Российские железные дороги» (подготовка машинистов в VR, проверка путей сообщения с использованием AR), Schlumberger и ПАО «Газпром Нефть» (проверка состояния магистральных газопроводов через очки AR, цифровой двойник месторождения в VR, обучение и переподготовка персонала), Холдинг «Сибур», ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и ПАО «Северсталь» (контроль состояния химического оборудования, обучение персонала, промышленная безопасность, цифровые инструкции, организация рабочего места), Ленинградская АЭС-2 Росэнергоатома (обучение операторов работе с распределительными устройствами, отработка действий при ЧС, отработка поведений в критических ситуациях, инструкции по организации рабочего места), Ланит (промышленный дизайн, контроль качества, прогнозирование и моделирование состояния объекта, считывание информации об объекте, отображение скрытых коммуникаций) и др.

Среди иностранных и международных организаций рассматривался опыт: McLaren, Volkswagen, Ford Motors Company, BMW, Porsche, Fiat Chrysler Automobiles (размещение технологической инструкции по сборке, технологические карты, части корпуса, порядок сборки деталей, сканирование и проецирование информации, обучение персонала, сокращение длительности рабочего цикла, сокращение ошибок, координация деятельности проектных команд), Lego (проектирование конструктора в виртуальной реальности), Airbus Boeing (цифровые инструкции, виртуальные тренировки, цифровой контроль, контроль качества, проектирование, проверка состояния оборудования), NVIDIA (удаленное цифровое взаимодействие производственных команд, удаленная экспертиза, контроль качества, распознавание деталей, визуализация), Generix (управление логистикой и движением сырья и материалов, инструкции по поиску и складированию товаров, симуляция движений для уменьшения нагрузки на человека, организация рабочего места), HAAS (контроль качества, цифровые инструкции, удаленный ассистент), PG&E и Schlumberger (визуализация скрытых объектов, контроль качества, моделирование воздействия окружение на технические параметры, наложение инструкций поверх объектов, считывание состояния объекта за счет датчиков), EDF Energy и Welsh Water (визуализация инфраструктурных проектов), Transportation's Global Services, Enel (AR инструкции на каждом рабочем месте, передача информации с датчиков и состояния оборудования на контрольную панель в очках) и др.

Промышленное применение иммерсивных технологий обширно: контроль качества, проектирование, захват движений, платформенные решения по созданию контента, графический и визуальный вывод изображений и т.д. В научной литературе открытыми остаются вопросы применения способов технического и технологического применения инструментов AR/VR для нужд промышленности. Технические способы применения данных технологий ограничиваются вопросами прикладного

использования, когда техническая сторона вопроса остается за инновационным потенциалом организации.

Теоретический анализ работ отечественных и зарубежных авторов, опыта организаций позволил сопоставить и структурировать производственные процессы, идентифицировать функции и описать способы применения AR/VR в промышленности (см. рисунок 11).

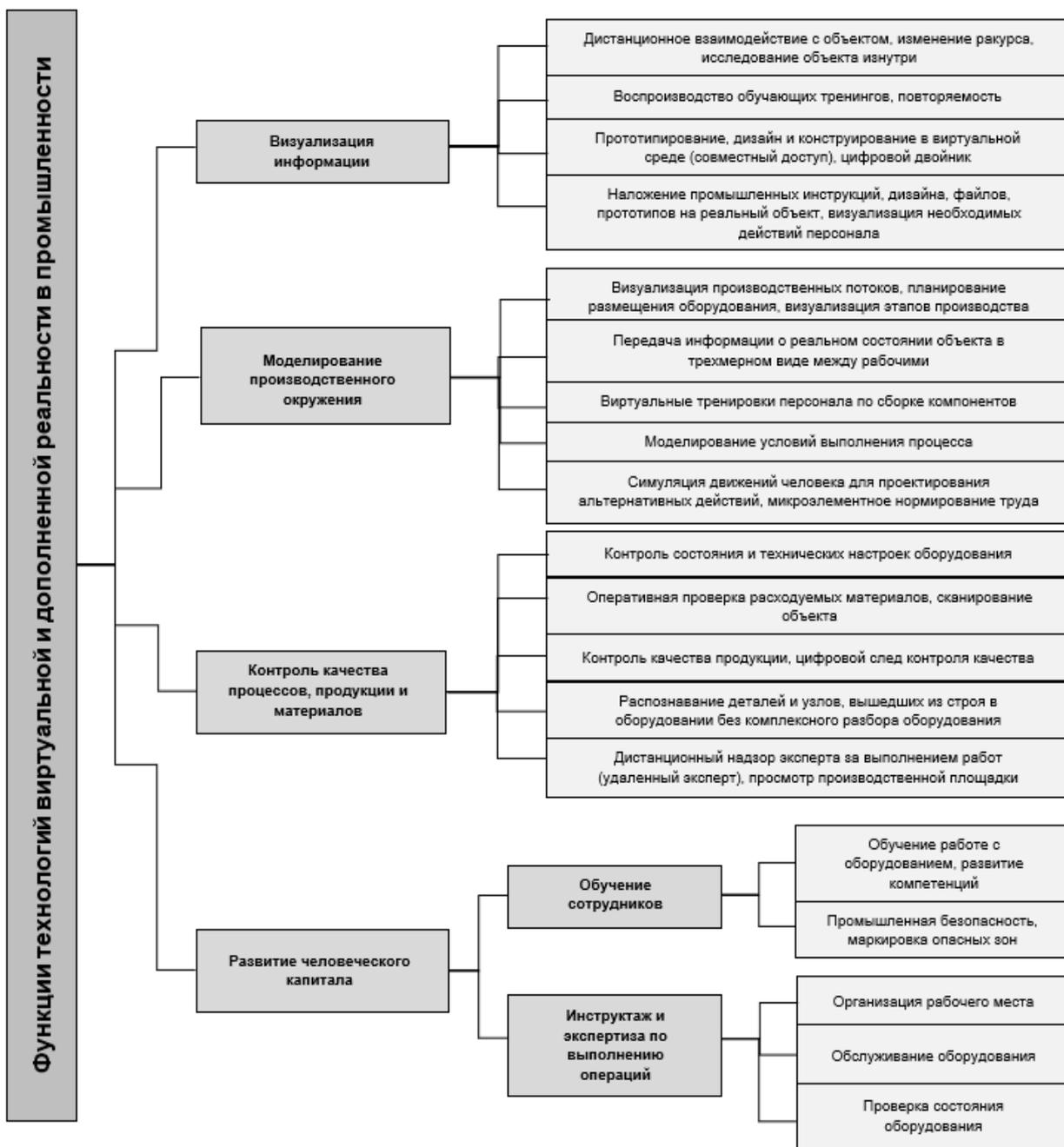


Рисунок 11 – Функции, возможности и способы применения технологий AR/VR в промышленности

Источник: составлено автором по материалам исследования

Расширенный перечень организаций, сценарии применения виртуальной и дополненной реальности и эффект от применения данных технологий в области повышения производительности труда представлены в приложении А (см. приложение А). Указанные на рисунке функции структурированы классифицированы по признаку общего действия:

- визуализация информации содержит в себе действия по передаче графической и иной информации в цифровом виде поверх реального объекта;
- моделирование производственного окружения имитирует реальный производственный процесс в цифровом виде;
- операции по контролю качества, состояния процесса, продукции и материалов объединяют в себя способы применения иммерсивных технологий в рамках бизнес-процесса или группы бизнес-процессов с особенностью текущего, функционального контроля за действиями операторов, производственной линией и т.д.;
- развитие человеческого капитала подразумевает обучение сотрудников и промышленную безопасность. В данную группу входят операции, которые включают в себя мероприятия по визуализации, контролю за состоянием рабочего места в той части, что развивает профессиональные навыки и компетенции персонала в отношении содержания труда и обращения с оборудованием.

Важно отметить, что технологии дополненной и виртуальной реальности не ограничиваются исключительно ролью вспомогательных инструментов в составе комплексных цифровых решений, а в ряде случаев могут выступать в качестве самостоятельных технологических решений, оказывающих прямое влияние на показатели производительности труда. Современные промышленные кейсы демонстрируют, что AR/VR-технологии способны функционировать автономно, решая прикладные задачи визуализации, навигации, обучения и поддержки принятия решений без обязательной интеграции с цифровыми двойниками. Вместе с тем на практике наибольший эффект достигается при их использовании в составе гибридных

цифровых контуров, где технологии дополненной и виртуальной реальности дополняют существующий арсенал инструментов цифровой трансформации, усиливая эффект от внедрения других сквозных цифровых решений. Автор подчеркивает, что, несмотря на их способность выступать в качестве самостоятельных решений (например, для локального обучения, удаленного совещания или визуализации отдельной инструкции), максимальный синергетический эффект достигается именно в условиях комплексной интеграции с другими цифровыми решениями.

Для полноценного использования дополненной и виртуальной реальности необходимо программное обеспечение для визуализации информации. Среди ведущих поставщиков программного обеспечения на рынке AR/VR выделяются компании: Unigine, VR Concept, VE Group, КРОК иммерсивные технологии, Yode Group, Modum Lab, Hello Computer, Hollo Group, General VR, Pluton VR, Formika Lab, Авто24, iVarian, Ирисофт, Мир 3D, Autodesk, Milk VR, Autodesk, Steam VR, Amazon, Otoy, Bohemia Interactive, Unity, MiddleVR, CryEngine, Havoc, EON Reality, G2G3, Mechdyne, Virtualis и др. Перечень технологических решений данных компаний схож: 3D-визуализация рабочих мест, виртуальные тренажеры, воспроизводство реального окружения в виртуальном пространстве, визуальный и цифровой контроль качества посредством сенсоров в очках дополненной реальности, интерактивное взаимодействие с виртуальными объектами.

Отдельно следует рассмотреть вопрос о жизненном цикле внедрения рассматриваемых технологий. Так как технологии дополненной и виртуальной реальности, с одной стороны, являются программным обеспечением, а с другой стороны совокупностью физических объектов (гарнитуры) и цифровой информации, разработка данных продуктов проходит несколько стадий:

- планирование улучшений и проектирование бизнес-процесса и сценария использования;

- разработка решений, программирование сценариев и создание контента;
- внедрение и контроль.

В таблице 2 представлено распределение стоимости рассмотренных способов применения иммерсивных технологий в разрезе выявленных функций (с. таблица 2).

Таблица – 2 Соотношение категорий стоимости по функциям виртуальной и дополненной реальности в проектах

Тип проекта	Гарнитура	Программное обеспечение	Внедрение	Контент и модели	Сценарии
Визуализация информации и моделирование производственного окружения					
Моделирование промышленных и инфраструктурных объектов	25%	5%	0%	55%	15%
Маркировка опасных зон	30%	10%	5%	45%	10%
Визуализация рабочего места	25%	5%	0%	60%	10%
Визуализация производственного процесса	20%	10%	5%	50%	15%
Распознавание объектов	20%	15%	10%	35%	20%
Обучение персонала и производственный инструктаж					
Тренинг по работе с оборудованием	50%	10%	5%	20%	10%
Тренажер VR для экстремальных тренировок	10%	5%	5%	65%	15%
Тренажер чрезвычайных ситуаций	40%	10%	10%	30%	10%
Виртуальное обучение	2%	10%	28%	45%	15%
Цифровые инструкции	5%	10%	15%	55%	15%
Контроль качества					
Считывание и передача информации о состоянии объекта оператору	15%	25%	15%	25%	20%
Проверка сырья и материалов	40%	10%	5%	35%	10%

Проверка состояния оборудования	30%	15%	10%	30%	15%
---------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Источник: составлено автором по материалам [43, 100-103, 114, 133, 138, 142, 149, 168, 172, 178, 184]

Затраты в проекте распределяются не просто по статьям расходов, а на основе определенной совокупности действий, потребляющих ресурсы. Каждый компонент проекта (гарнитура, программное обеспечение, внедрение, разработка контента, сценарное планирование) представляет набор таких активностей. В категорию гарнитуры входит выбор платформенного решения (AR/VR), закупка устройств, поставка, ИТ-инфраструктура, поддержка и обучение пользователей. Наполнение программного обеспечения представлено разработкой программного ядра и программирования приложения, разработки алгоритмов, интерфейсов, тестирование и лицензирование. Блок внедрения состоит из анализа бизнес-процессов, разработки целевой модели бизнес-процесса или решения, развертывания на площадке сетевой инфраструктуры и безопасности, обучения администраторов и конечных пользователей, технической поддержки и управления изменениями. Категория контента состоит из 3D-моделирования, разработки текстур, анимации, разработки пользовательского интерфейса, создания аудио/видео материалов. Блок сценария состоит из проектирования интерактивных последовательности действий, программирования логики взаимодействий, создания ветвлений (особенно в обучении), настройки физики, интеграции с данными в реальном времени

Исходя из данной таблицы отметить следует то, что основная статья расходов на имплементацию виртуальной и дополненной реальности – расходы на разработку контента и конкретного сценария использования данного контента. Отметить следует и то, что чем глубже интеграция технологий с ERP, MES, SCADA, IOT-платформами, тем выше доля затрат на программное обеспечение (ПО). Во всех типах проектов, требующих визуализации, контент (30-65%) неизменно является самой крупной статьей

затрат на этапе разработки. В проектах, где результат зависит от действий пользователя (обучение, контроль качества, сложная визуализация процессов), доля сценариев (10-20%) существенна.

Финальное распределение должно определяться в ходе детального технико-экономического обоснования (ТЭО) конкретного проекта с учетом всех уникальных факторов: требований заказчика, доступной инфраструктуры, выбранных технологий, зрелости команды и ИТ-стратегии.

Среди функций дополненной и виртуальной реальности в промышленности следует выделить, что данные технологии частично замещают процессы контроля и проверки состояния оборудования и рабочего места, настроек операции, осуществляется удаленная экспертиза, а операции проектирования и прототипирования [169], технологически замещают операции по получению инструктажа и обучения персонала, получения справочной информации, управления цифровыми двойниками промышленного оборудования и т.д. исходя из анализа, можно сказать о том, что функции технологий дополненной и виртуальной реальности в промышленном секторе – оптимизация выполнения бизнес-процесса с учетом цифровых технологий.

Детализируя данные аспекты, следует остановиться на исследовании с позиции менеджмента ролей. Так как ранее было определено, что технологии дополненной и виртуальной реальности являются инструментальной инновацией, роль данных технологий является в технологическом замещении орудий труда. В соответствии с анализом практики применения и приложением А (см. приложение А), выделить можно следующие роли указанных технологий, представленные на рисунке 12 (см. рисунок 12).

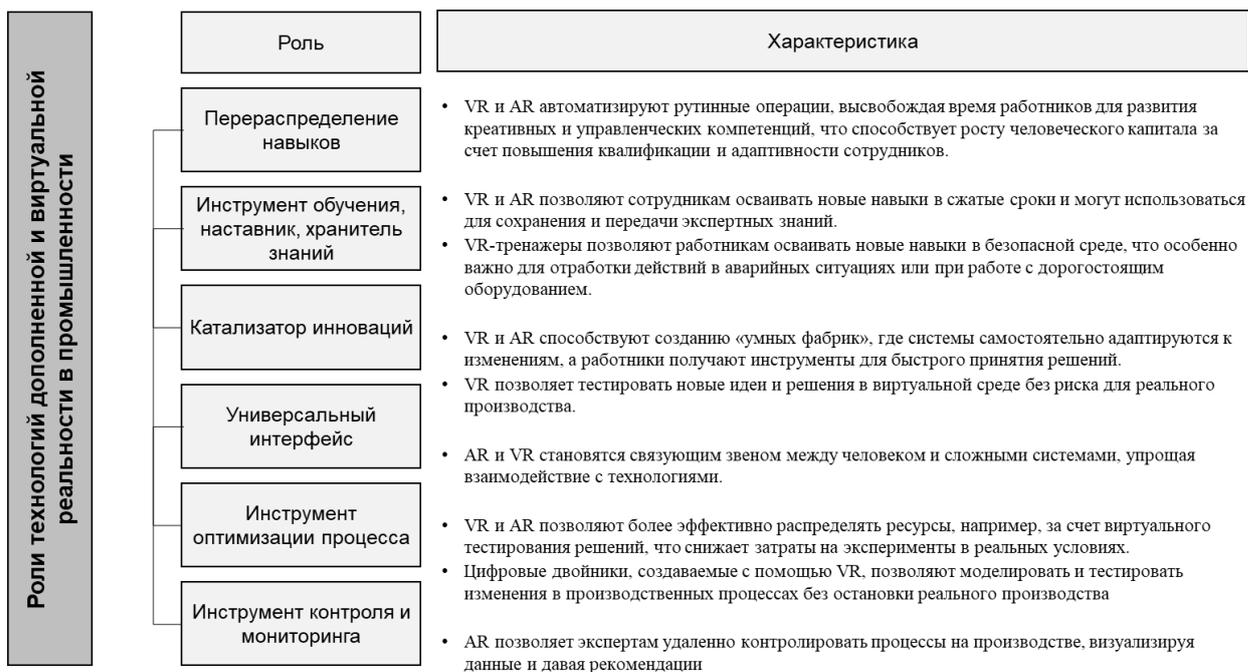


Рисунок 12 – Роль технологий AR/VR в повышении производительности труда

Источник: составлено автором по материалам исследования

На данном рисунке представлена схема, иллюстрирующая роли и характеристики технологий дополненной (AR) и виртуальной реальности (VR) в промышленности. Под ролью, в контексте исследования, следует понимать назначение, которое выполняет виртуальная и дополненная реальность в производственном процессе. Роль технологии классифицирована в разрезе процесса (инструмент оптимизации процесса, инструмент контроля), людей (обучение и управление навыками) и системы управления предприятием. Т.е. ключевые роли дополненной и виртуальной реальности – это роли, влияющие на развитие человеческого капитала (перераспределение навыков, обучение и наставничество), развитии теории управления бизнес-процессами и распределении ресурсов во времени (оптимизация процессов и развитие процедур контроля и мониторинга), технологического принятия и адаптации (универсальный интерфейс, катализатор инноваций).

Виртуальная и дополненная реальность в рамках предложенной теоретической рамки выступают как агенты трансформации, которые

переопределяют трудовые отношения и повышают производительность труда. Они выполняют функции интеграции, оптимизации и автономной адаптации, снижают когнитивную нагрузку, развивают человеческий капитал, перераспределяют баланс живого и овеществленного труда, а также способствуют эффективному распределению ресурсов. Иммерсивные технологии нашли свое применение в промышленности, обучении, подготовке пилотов и машинистов, здравоохранении, инженерии, строительстве, архитектуре, ритейле, авиастроении, добыче полезных ископаемых.

2.3 Повышение производительности труда с использованием дополненной и виртуальной реальности

В иммерсивных цифровых технологиях лежит резерв производительности труда, но только грамотное применение технологий позволит организациям использовать данные резервы производительности. Первостепенное значение для решения поставленных задач, имеют исследования, непосредственно направленные на рассмотрение иммерсивных технологий с точки зрения экономики и прикладного использования достижений научно-технического прогресса на промышленных предприятиях.

Технологии AR/VR активно применяются во многих отраслях промышленности. Решения VR/AR позволяют осуществлять реинжиниринг существующих процессов. Значимость обучения с использованием виртуальной и дополненной реальности отмечали в Университете Мэриленда, США. Коллектив исследователей под руководством Э. Крокоса, пришел к выводам, что обучение через AR/VR технологии повышает уровень запоминаемости материала на 8,8% и результаты тестирования сотрудников выше на 10%, чем у сотрудников, прошедших традиционное обучение [126].

Коллектив исследователей под руководством Акбари Н. отметил, что иммерсивные технологии визуализации информации для сотрудников увеличивают скорость освоения рабочих инструкций и информационного

материала, обучаются на 39% быстрее. В то же время, количество выпускаемой бракованной продукции уменьшилось на 14,7% после прохождения тренинга [112,124].

В. Амин, М. Абиди, А. Аль-Ахмари в совместном исследовании [110], выявили, что при применении иммерсивных технологий в промышленности рост производительности труда на операциях по сборке и подборке частей и узлов агрегатов составляет до 24%, т.е. одновременно увеличивается выработка и сокращается время производства изделия. В рамках исследования примечателен опыт обрабатывающего предприятия НААС. Внедрение AR в процессы обработки деталей и контроля качества позволило организации и снизить стоимость производства партии из 240 шт. с 77 900 до 54 100 долл. США (экономия составила 23 800 долл. США). Сокращение времени на производство одной детали составила 67 мин. (снижение суммарного времени производства на 30%). Контроль качества на производстве в НААС в значительной степени зависел от ручных проверок, которые занимали много времени и были подвержены человеческим ошибкам. Хотя автоматизированные системы и современное метрологическое оборудование значительно повысили точность, сложность современных изделий требует еще более сложных решений. AR позволяет преодолеть разрыв между традиционными методами контроля и необходимостью высокоточного контроля качества в режиме реального времени.

Значимых результатов добилась компания Fiat Chrysler Automobiles. Технологии AR/VR позволили компании: а) повысить качество производственного процесса (в совокупности) на 80%; б) сократить количество ошибок на 90%; в) сократить длительность рабочего цикла до 50% и общего времени протекания процесса на 38%; г) увеличить человеческий капитал предприятия; д) увеличить пропускную способность производства на 82% [122].

В 2015-2016 гг. международная аудиторская компания PriceWaterhouseCoopers (PWC) провела опрос предприятий о потенциале и

текущем характере использования AR/VR и других цифровых технологий в бизнес-процессах: 38,8% опрошенных отметили высокую перспективу продуктового дизайна с использованием AR/VR (прототипирование, моделирование, цифровые двойники), 27,6% подчеркнули важность AR/VR в обеспечении промышленной безопасности и охраны труда, 19,4% предприятий использовали AR/VR в процессах технического обслуживания и ремонта оборудования, планового осмотра, оперативной проверке состояния оборудования, 17,3% отметили значимость AR/VR в виде вспомогательного инструмента визуализации информации [168,172]. PWC также отмечают, что объем глобального рынка AR и VR технологий будет стремительно расти в ближайшие годы. Ожидается, что к 2024 году он достигнет 72,8 млрд долл., демонстрируя среднегодовой темп роста более 40% [168,172]. При этом, многие предприятия отмечали, что после проведения опроса смогли увидеть потенциал AR/VR на производстве и рассматривают применение данных технологий.

Сфера применения данных технологий обширна. Анализ мирового опыта применения данных технологий в сфере промышленности демонстрирует наличие потенциала для российских компаний. Потенциал внедрения AR и VR технологий многогранен: их можно использовать для визуализации информации (рабочие инструкции в цифровом виде, части изделия, последовательности операций), обучения сотрудников предприятия в режиме онлайн с возможностью повторения тренинга неограниченное количество раз, мониторинга технического состояния оборудования, передача данных в режиме реального времени между объектами, визуализация проектной, дизайнерской, концептуальной и проектируемой деятельности в цифровом виде, создание цифрового пространства для работы в виртуальной реальности, визуализация опасных зон и т.д. Основные направления использования VR/AR в промышленности представлены в области улучшения процессов и в обучении персонала (рисунок 13).



Рисунок 13 – Влияние технологий AR/VR на повышение производительности труда

Источник: составлено автором по материалам исследования

На данном рисунке представлена схема, иллюстрирующая роли и преимущества технологий виртуальной (VR) и дополненной реальности (AR) в промышленности. Классификация основана на том, на какую область управления влияют технологии VR и AR в промышленности. Исходя из результатов проведенного анализа, следует выделить два глобальных направления для улучшений – совершенствование процессов и развитие человеческого капитала.

В части развития процессов, ключевым эффектом от внедрения иммерсивных технологий является рост производительности труда (в контексте микроэкономического показателя выработки 1 рабочим продукта на 1 час рабочего времени), роста повышения операционной эффективности за счет снижения себестоимости производства, сокращения времени,

необходимого на производство 1 детали, развитие нормирования труда и исключение действий-потерь из трудовых операций.

Каждое из указанных форм проявления трудовой деятельности прямо влияет на показатели выработки рабочего. С точки зрения содержания и качества труда, иммерсивные технологии создают задел времени и трудового ресурса, который является результатом использования резерва производительности труда [123].

С позиции повышения операционной эффективности, иммерсивные технологии оказывают влияние на производительность посредством развития прикладных навыков и компетенций в рамках рабочей профессии человека, непосредственно в практической наработке опыта работы с оборудованием через имитацию работ и постепенную выработку лучших практик работы и взаимодействия со станочным парком [127,174]. Тем самым, наибольший уклон в данной области находится в части практической отработки действий персонала, где лучшие практики выполнения операций становятся стандартной процедурой.

С позиции развития человеческого капитала, следует иметь ввиду, что иммерсивные технологии направлены на формирование необходимого научно-квалификационного фундамента деятельности, в которой персонал обладает необходимым инструментарием (образовательным и промышленным) для выполнения работ [176]. Для формирования данного фундамента необходимо обучение персонала, скорость принятия решений и повышение скорости обработки и передачи данных между участниками процесса: увеличение скорости обработки данных о количестве и состоянии производственной линии, уровне производственных запасов и обеспеченности складскими или страховыми запасами, инструкции по выполнению операций.

Например, современные методы производства, включая комбинированные аддитивные и субтрактивные технологии (например, металлокерамические и металлогибридные системы с применением порошковых материалов), сопряжены с рисками для безопасности персонала

и эксплуатационных процессов [175]. В данном контексте виртуальная реальность выступает инструментом минимизации угроз, однако ее потенциал в моделировании лазерных процессов обработки металлов изучен фрагментарно. Ключевые требования к проектируемой виртуальной среде включают:

- реалистичную симуляцию производственных и лабораторных условий [126];
- максимальное погружение пользователя за счет мультисенсорного взаимодействия [128];
- интуитивный интерфейс для манипуляции виртуальными объектами [133].

Инновационным аспектом разработки является интеграция системы анализа поведения учащихся. Тепловые карты, генерируемые на основе трекинга взгляда и распознавания эмоциональных реакций, позволяют преподавателям адаптировать учебные сценарии в режиме реального времени. Особое внимание уделяется тактильным и кинестетическим обратным связям, критически важным для формирования практических навыков в виртуальной среде. Работники производства, как действующие, так и начинающие, должны пройти это обучение, основанное на технологиях, и спланировать его использование для повышения производительности и безопасности. Модели принятия технологий и теория планируемого поведения должны применяться для изучения готовности будущих сотрудников к обучению виртуальной реальности.

Разработанная среда обучения виртуальной реальности должна быть удобной как для 1) новых сотрудников на производстве, состоящих из представителей молодого поколения или людей, не имеющих опыта взаимодействия с виртуальными технологиями, так и для 2) существующих сотрудников на производстве, состоящих из представителей старшего поколения [23,115]. Используя гарнитуры или планшеты с дополненной реальностью, персонал на месте может поделиться своим мнением с

экспертами, которые затем могут дать рекомендации, выделить проблемные области и предложить меры по устранению неполадок. Эта возможность особенно ценна в ситуациях, когда требуются специальные знания, которые не всегда доступны на месте. Системы дополненной реальности оснащены сложными алгоритмами, которые могут анализировать визуальные данные, полученные камерами или датчиками. Эти алгоритмы могут обнаруживать аномалии или отклонения от ожидаемых стандартов качества, такие как дефекты поверхности, неправильная сборка или отсутствующие компоненты. При выявлении таких проблем система дополненной реальности может немедленно предупредить оператора и предложить меры по их устранению.

Ожидается, что по мере дальнейшего развития технологии дополненной реальности ее роль в контроле качества производства будет становиться все более значимой. Достижения в области аппаратного обеспечения дополненной реальности, такие как более мощные процессоры и дисплеи с более высоким разрешением, позволят получать еще более точную и детализированную визуализацию. Усовершенствования в области машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ) повысят способность AR обнаруживать дефекты и прогнозировать потенциальные проблемы с качеством до их возникновения. Например, датчики Интернета вещей, встроенные в производственное оборудование, могут передавать данные в режиме реального времени в AR-системы, что позволяет проводить профилактическое обслуживание и оптимизацию процессов в режиме реального времени.

Интеграция AR с передовым метрологическим оборудованием выводит контроль качества на новый уровень. Например, AR может работать в паре с координатно-измерительными машинами или лазерными сканерами для визуализации данных измерений непосредственно на проверяемом компоненте. Системы AR могут отображать важную информацию непосредственно в поле зрения работника, устраняя необходимость в отдельных справочных материалах или экранах. Например, при проверке сложного компонента система дополненной реальности может выделить

конкретные области, представляющие интерес, такие как пределы допусков, измерения или области, подверженные дефектам.

Производительность труда, как ключевой индикатор экономической эффективности, проявляется через несколько форм, включая снижение трудовых издержек, рост массы потребительных стоимостей и оптимизацию соотношения живого и овеществленного труда. Современные иммерсивные технологии (AR/VR) становятся катализатором этих процессов, трансформируя традиционные производственные парадигмы. Данный анализ фокусируется на теоретических основах и эмпирических доказательствах их влияния на производительность, интегрируя концепции из экономики труда, когнитивной психологии и теорий технологического принятия.

В условиях цифровизации управленческая проблема заключается в отсутствии системного подхода к использованию цифровых технологий (в т.ч. VR/AR) для повышения производительности труда. Существующие исследования фокусируются на частных кейсах, но не дают универсальных моделей, позволяющих определить оптимальные условия внедрения технологий, оценить их влияние на трудовые процессы, управлять изменениями в организационной структуре и корпоративной культуре.

Технологии дополненной и виртуальной реальности существуют уже больше полувека, но только за последние десятилетие они привлекли всеобщее внимание. В рамках исследования рассматривались эволюционирующие ландшафты дополненной реальности (AR) и виртуальной реальности (VR) – технологий, которые трансформируют широкий спектр отраслей промышленности, в части процессного подхода к выполнению бизнес-операций, так и с точки зрения менеджмента. Трудовые отношения смещаются в сторону гибкости: сотрудник становится «оператором цифровых решений», а его ценность определяется умением взаимодействовать с иммерсивными системами. Данные технологии обладают потенциалом для трансформации управленческих процессов в бизнесе: повышение эффективности планирования и контроля, взаимодействия между

подчиненными и командами. Широкое внедрение данных технологий в настоящий момент объясняется наличием потенциала в области повышения производительности труда и операционной эффективности на предприятиях.

Выводы по главе 2

В рамках концепции цифровизации и сквозных технологий виртуальная и дополненная реальность формирует новые управленческие подходы к организации бизнес-процессов. Синергия форм повышения производительности труда и технологий AR/VR формирует основу для трансформации промышленности. VR, создавая полностью синтетические среды, и AR, проецируя цифровую информацию в реальное пространство, открывают новые возможности для производственного сектора.

На основе анализа мировой и российской практики (приложение А), способы применения классифицированы по функциям и отраслям с учетом комплиментарности технологий. Технологии виртуальной и дополненной реальности в промышленности имеет широкий перечень способов применения. В процессной части заметно операционализируется роль технологий в части развития процессов, человеческого капитала и прямого повышения производительности труда. В первую очередь, механизм повышения производительности за счет иммерсивных технологий проявляется в том, что существуют определенный перечень операций, в которых существует потенциал оптимизации.

В рамках повышения операционной эффективности определено, что технологии AR/VR применяются для сокращения длительности производственного цикла, применяются в целях визуализации необходимой информации для сотрудников и звена управления, имеют высокий потенциал при контроле качества и удаленном взаимодействии. Сфера применения данных технологий обширна и существуют характерные черты данных технологий и свои способы промышленного использования. По результатам

исследования обобщен опыт применения сквозных цифровых иммерсивных технологий в различных отраслях.

Ведущие роли данные технологии получают при распределении навыков, использовании AR/VR в целях подготовки кадров, инструмента инновационной активности, связующего звена между человеком и цифровым миром. Данные технологии смещают акцент с традиционных конвейерных систем в сторону динамических экосистем, где персонал взаимодействует с оборудованием принципиально новыми методами производства. Рассмотренная классификация способов применения рассматриваемых технологий позволяет выявить три уровня воздействия: микроуровень (уровень локальных трудовых операций), мезоуровень (влияние на цепочку операций) и макроуровень (сквозную трансформацию бизнес-модели).

Цифровые сквозные технологии не просто оптимизируют текущие процессы, но и переопределяют саму природу труда, смещая акцент с рутинных операций на управление интеллектуальными системами. Однако их потенциал будет раскрыт только при системном подходе, объединяющем технологические инновации, управленческие стратегии и инвестиции в человеческий капитал.

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В БИЗНЕС- ПРОЦЕССЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

3.1 Операционализация опыта использования и проблематики применения иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности предприятиями промышленных отраслей

Современная промышленность вступает в стадию цифровизации, в котором ключевую роль играют сквозные технологии, включая дополненную (AR) и виртуальную (VR) реальность. Эти инструменты не только повышают эффективность операционных процессов, но и становятся стратегическими элементами управления бизнес-процессами. Спектр применения технологий распределен по различным уровням и областям управления. Часть иммерсивных решений ориентирована исключительно на рост операционной эффективности, тогда как другие имеют стратегический характер и могут рассматриваться как инновации, определяющие долгосрочное развитие предприятия.

В первую очередь в основе данных решений лежит принцип устойчивости и единообразия труда во времени, где изменения выходящего изделия являются лишь результатом манипуляции над материалами и сырьем, а, следовательно, их степень влияния не настолько выражена. На операционном уровне управления технологии виртуальной реальности выполняют функцию оптимизации текущей деятельности предприятия. Они не трансформируют стратегию бизнеса напрямую, но создают условия для роста его эффективности и устойчивости. Эмпирический анализ показывает: глубина трансформации бизнес-процессов зависит от степени операционализации технологий (см. рис. 14).



Рисунок 14 – Группировка и классификация опыта применения виртуальной реальности в повышении производительности труда

Источник: составлено автором по материалам исследования

Цифрам на рисунке соответствуют следующие способы применения:

1. Тренажер виртуальной реальности для проектирования действий сотрудника и нормирования труда;
2. Виртуальные инструкции для персонала, проведение специальных тренировок и обучение персонала;
3. Виртуальный симулятор производственных и внештатных ситуаций;
4. Виртуальный двойник процессов для моделирования и оптимизации бизнес-процесса, симуляция производственного цикла;
5. Виртуальная модель работы оборудования, симуляция условий работы оборудования;

6. Удаленное взаимодействие для работы с одинаковыми проектными данными, виртуальное прототипирование;
7. Техническое обслуживание и ремонт оборудования в виртуальной реальности (обучение, удаленный эксперт, техническая поддержка);
8. Виртуальные конфигураторы настройки параметров выходного изделия;
9. Пространственное планирование производственного потока в виртуальной реальности;
10. Специализированное обучение сотрудников правильному и эффективному выполнению операций;
11. Виртуальная инспекция и контроль качества через 3D проецирование и считывание изображения;
12. 3D-проецирование объекта;
13. Визуализация дизайн-концепта изделия, формы, модели;
14. Моделирование опасных сред;
15. Моделирование производственного потока в целях прогнозирования;
16. Моделирование производственного процесса в целях прогнозирования.

На операционном уровне цифровизации промышленности применение дополненной (AR) и виртуальной (VR) реальности имеет прямую практическую ценность. Вместо общей ориентации на «инновационность» предприятиям стоит рассматривать эти инструменты как конкретные решения для повышения эффективности и снижения издержек. Значимым является использование AR/VR для визуализации дизайн-концептов. Этот подход особенно востребован на предприятиях с развитым исследовательско-конструкторским циклом, высокой долей ручных операций и зависимостью от качества входных задач. Здесь труд носит преимущественно когнитивный характер и не выполняет управляющих функций, что смещает акцент в

сторону моделирования результата и оптимального использования производительных сил.

Управляющая функция труда проявляется при внедрении иммерсивных технологий, связанных с моделированием бизнес-процессов, симуляцией и отработкой действий персонала в штатных и нештатных ситуациях. Виртуальная реальность позволяет стандартизировать трудовые операции: проектировать их последовательность, отрабатывать сценарии и выявлять наиболее эффективные способы поведения сотрудников на уровне конкретных действий.

Особый интерес представляют решения в области виртуальных инспекций и удаленного взаимодействия сотрудников. Оба подхода обеспечивают дистанционный формат работы, но различаются охватом операций и условиями применения. Виртуальная инспекция целесообразна в статичных условиях, когда требуется фиксировать и оценивать измеримые параметры внутренней и внешней среды. Это обеспечивает прозрачность контроля качества и сокращает время на проведение проверок.

Удаленное взаимодействие и использование виртуального эксперта, напротив, ориентированы на динамичную среду. Эти инструменты позволяют оперативно решать производственные задачи, обеспечивая консультирование и поддержку сотрудников в реальном времени. Такой подход особенно полезен для распределенных производственных площадок и предприятий с высокой степенью автоматизации.

Отдельно следует рассмотреть способы применения VR в части прогнозирования производственного потока и моделирования поведения персонала. Так как за счет виртуальной реальности создается цифровой двойник бизнес-процесса и двойник всего производственного потока, уровни управления и последствия управленческих решений заметно различаются. Так как управление эффективностью бизнес-процесса не является управлением эффективностью всего производства, сама степень операционализации объясняет различия в способах применимости технологий. Если цифровая

модель бизнес-процесса используется для проектирования труда и результата труда нескольких групп процессов, то виртуальная модель преследует стратегические цели в области планирования производственной деятельности и выступает в роли управляющей настройки и шаблона, к которому необходимо стремиться. В дальнейшей части исследования следует подробнее исследовать опыт применения технологий виртуальной реальности (см. рисунок 15).

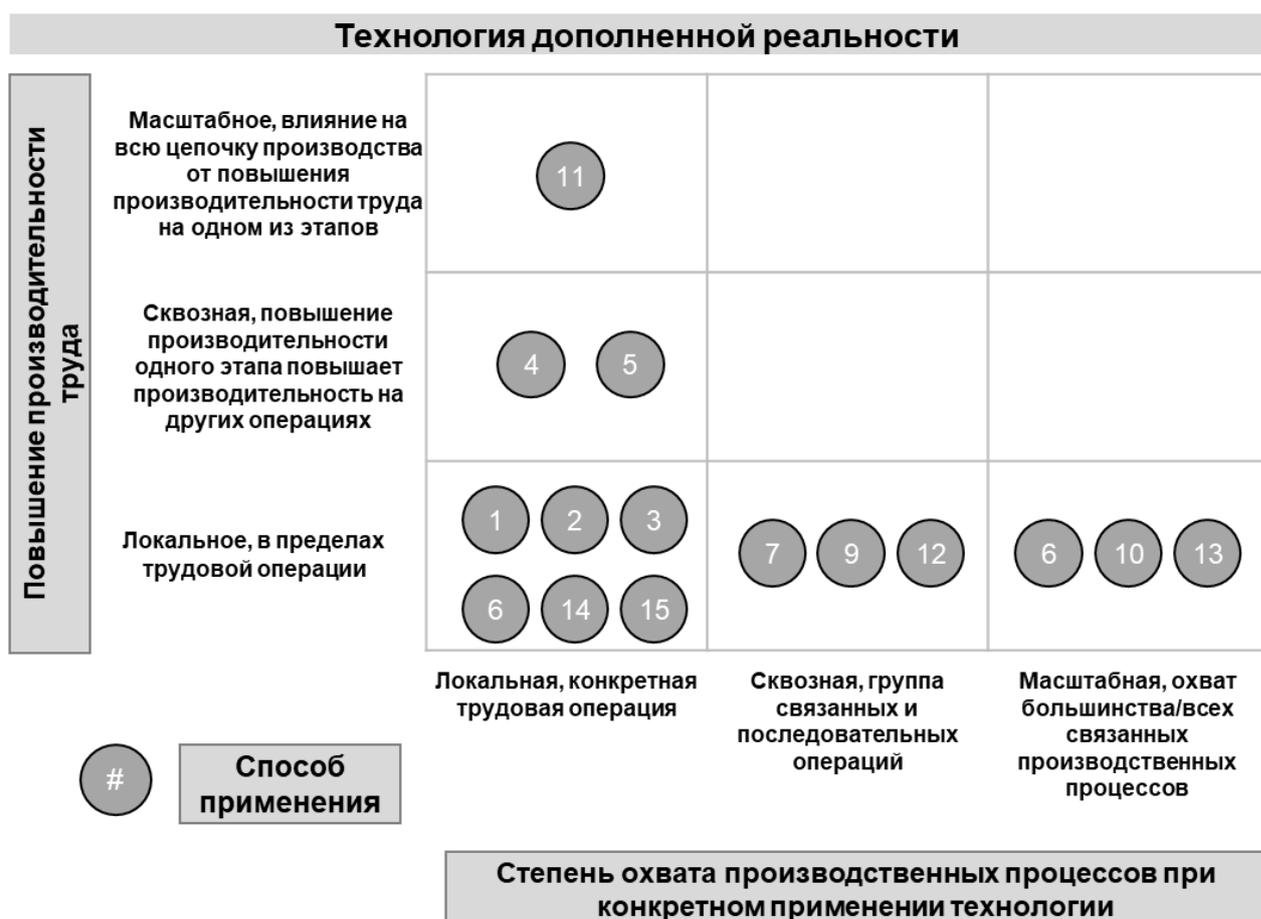


Рисунок 15 – Группировка и классификация опыта применения дополненной реальности в повышении производительности труда

Источник: составлено автором по материалам исследования

Цифрам на рисунке соответствуют следующие сценарии применения:

1. Проецирование рабочих инструкций в различных форматах на дисплей;

2. Присутствие «удаленного эксперта» через трансляцию изображения;
3. Визуализация компонентов оборудования;
4. Визуальный осмотр и видеофиксация состояния оборудования;
5. Наложение конструируемых компонентов поверх объекта, визуализация этапов сборки;
6. Визуализация опасных зон, траектории маршрута;
7. Визуализация задач;
8. Запись/захват изображения для трансляции действий оператора;
9. Визуализация загрузки оборудования для оперативного мониторинга производственного процесса;
10. Удаленное взаимодействие для работы с одинаковыми проектными данными, виртуальное прототипирование;
11. Инспекция и контроль качества, фиксация отклонений;
12. Управление складскими запасами: визуализация запасов, потребность, навигация, необходимость снабжения;
13. Сканирование штрих-кодов для оперативной передачи данных;
14. Отображение показаний приборов на оборудовании;
15. Визуализация скрытых данных, коммуникаций, сетей.

Дополненная реальность (AR) демонстрирует более локальное, но не менее значимое влияние. Наибольший эффект дает ее использование для оснащения работников инструкциями непосредственно на рабочем месте. Это позволяет уменьшить потери времени за счет исключения лишних перемещений, простоев и обращений к бумажной документации. Рекомендуется переводить инструкции и технологические карты в цифровой формат с интеграцией в AR-устройства.

Применимость решений дополненной реальности объясняется высокой степенью локализации, как и труда, так и технологий на конкретном этапе производства. Возможные операционные улучшения в данной плоскости основываются на увеличении количества доступного рабочего времени

работника, в которые он занят производительным трудом, т.е. в организации процесса без потерь времени. Потерями времени могут служить излишние перемещения сотрудника, излишняя транспортировка, обработка, простои и ожидания. Дополненная реальность позволяет, например, нивелировать количество перемещений сотрудника для изучения документации и инструкций за счет их перевода в цифровой вид.

Отдельно следует выделить контроль качества с применением AR. Его эффективность выше традиционного, поскольку измерительные и вычислительные средства могут быть встроены в компактные устройства. Такой подход позволяет проводить входной и выходной контроль в реальном времени: например, Heineken применяет AR для оценки качества стеклотары, а Fiat и Ford – для проверки готовой продукции. Предприятиям рекомендуется рассматривать AR-контроль как инструмент сокращения издержек на проверку и повышения достоверности оценки качества.

AR радикально меняет подход к визуализации оперативных задач. Традиционно задачи формулируются в бумажном или электронном виде, но не интегрируются в реальную рабочую среду. Использование AR позволяет встраивать инструкции и задачи в поле зрения работника повышая точность исполнения и снижает нагрузку на когнитивную память. Практический шаг для предприятий – внедрение AR-очков на складах и производственных линиях для визуализации задач, маршрутов и инструментальных подсказок.

В сценариях применения дополненной реальности для визуализации оперативных задач происходит определенная революция. Традиционно задачи находятся в бумажном или электронном виде, но они не визуализируются в реальности. Технологии дополненной реальности обладают функционалом визуализировать и детализировать последовательность, которая была задана работнику с подробными инструкциями.

Причем контроль качества с дополненной реальностью обладает высоким уровнем потенциала за счет возможности интеграции вычислительных и измерительных средств в компактный гаджет. Так, на

устройство (планшет, очки) могут быть установлены измерительные программы для считывания параметров выходящего изделия, в соответствии с требованиями. Устройство при наведении будет фиксировать отклонения и

Максимальный охват бизнес-процессов дополненной реальности присутствует в сценариях удаленного взаимодействия, передачи информации и охраны труда. В первую очередь, визуализация опасных производственных зон и отображение траектории маршрута оказывает значительное влияние на повышение уровня безопасности и охрану труда. Сканирование данных позволяет оперативно передавать информацию между удаленными точками, а возможность трансляции изображения через очки дополненной реальности позволяет в максимальной степени эффективности привлекать удаленных экспертов.

Отдельного отражения заслуживает опыт применения технологий виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) в отраслевом разрезе. Для корректного сопоставления практик целесообразно осуществлять группировку по видам экономической деятельности в соответствии с классификаторами ОКВЭД-2 и NACE Rev.2. Результаты проведенного анализа позволяют систематизировать сценарии, способы и методы применения VR/AR по принципу функционального назначения и схожести выполняемых операций.

Прежде всего, необходимо выделить использование иммерсивных технологий в развитии человеческого капитала. Сюда относятся профессиональная подготовка, повышение квалификации, обучение действиям в условиях риска, а также мероприятия в области охраны труда и промышленной безопасности. Данный вектор применения обоснован тем, что VR/AR выступают формой инвестиций в человеческий капитал, которые, по теории Г. Беккера, являются ключевым фактором роста производительности труда. Иммерсивное обучение реализует принципы экспериментального и практико-ориентированного подхода: благодаря полному погружению создаются условия для мультисенсорного восприятия, когда одновременно

задействуются зрительные, слуховые и моторные каналы. Существенное значение имеет и превентивное управление рисками: отработка сценариев чрезвычайных ситуаций снижает вероятность ошибок и позволяет сотрудникам действовать в условиях неопределенности на основе сформированных поведенческих паттернов.

В следующую категорию следует выделить операции, связанные с эксплуатацией и обслуживанием оборудования. Речь идет о плановых и аварийных ремонтах, техническом обслуживании, управлении производственными параметрами и снижении простоев. Современные практики операционного менеджмента концентрируются на трех направлениях: (1) оптимизация обслуживания оборудования, (2) повышение эффективности производственных систем, (3) устранение системных потерь. Концепция Total Productive Maintenance (TPM), направленная на обеспечение непрерывной работоспособности оборудования, трансформируется за счет интеграции цифровых двойников и AR-инструментов. Цифровые двойники, функционирующие в синхронизации с физическими активами, позволяют прогнозировать износ узлов, своевременно планировать ремонты и тем самым минимизировать простои, а иммерсивные технологии являются способом реализации данного принципа.

Отдельного внимания заслуживают операции, непосредственно влияющие на производительность труда. Использование VR/AR для симуляции трудовых процессов создает возможность анализа действий сотрудника, выявления узких мест, а также разработки оптимальных сценариев выполнения операций. Технологии позволяют моделировать эргономические ограничения, адаптировать рабочее пространство и повышать эффективность рабочих практик за счет визуализации наилучших производственных решений.

Таким образом, операционализация VR/AR в управлении потоками создания ценности демонстрирует потенциал технологий для комплексного воздействия на человеческий капитал, эксплуатационную эффективность

оборудования и организацию трудовых процессов. Это создает основу для формирования методологических рекомендаций по масштабированию иммерсивных решений в различных индустриях и позволяет рассматривать VR/AR как интегральный инструмент повышения конкурентоспособности предприятий (см. рисунок 16).



Рисунок 16 – Матрица применения дополненной иммерсивных технологий для повышения производительности труда по отраслям
 Источник: составлено автором по материалам исследования

Цифрам на рисунке соответствуют следующие коды отраслей:

1. Раздел ОКВЭД А Сельское, лесное хозяйство, рыболовство;

2. Раздел ОКВЭД В Добыча полезных ископаемых;
3. Раздел ОКВЭД С Обрабатывающие производства;
4. Раздел ОКВЭД D Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха;
5. Раздел ОКВЭД E Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений;
6. Раздел ОКВЭД H Транспортировка и хранение;
7. Раздел ОКВЭД S Предоставление прочих видов услуг.

На основании проведенного анализа практик внедрения сквозных цифровых иммерсивных технологий в бизнес-процессы различных отраслей установлено, что характер их применения обладает выраженной отраслевой спецификой. В целях систематизации результатов целесообразно опираться на классификацию видов экономической деятельности по ОКВЭД-2 и NACE Rev.2.

Так, в разделе А «Сельское, лесное хозяйство, рыболовство» (Далее – Раздел А) и Е «Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений» (Далее – Раздел Е) преобладают решения, ориентированные на повышение индивидуальной производительности труда. Данное обстоятельство обусловлено высокой зависимостью конечного результата от уровня компетенций и практического опыта конкретного работника. При этом между двумя секторами фиксируются различия в фокусе: для Раздела А ключевым фактором является обеспечение качества трудовых операций, детерминированное стандартами охраны труда и системой НАССР (ХАССП), а для Раздела Е приоритетом выступает безопасность персонала в связи со спецификой производственных условий.

Рассматривая раздел В «Добыча полезных ископаемых» (Далее – Раздел В) и С «Обрабатывающие производства» (Далее – Раздел С), то следует отметить более широкий охват и операционализацию применения иммерсивных технологий. Их производственные модели основаны на

принципе последовательности операций в потоке создания стоимости, где результат каждой стадии напрямую влияет на качество конечного продукта. Технологические решения в этих секторах нацелены на повышение сквозной производительности за счет оптимизации отдельных операций и рабочих мест, что обеспечивает рост пропускной способности производственных линий и снижение транзакционных издержек.

Особо следует подчеркнуть Раздел С как один из наиболее распространенных сегментов индустриальной экономики. Бизнес-модели предприятий обрабатывающей промышленности тесно связаны с качеством корпоративного управления и рациональной организацией производственных процессов. Эффективность в данном случае формируется через правильную настройку рабочих мест, применение технологий бережливого производства и последующие технологические приращения.

При этом базовым элементом модели остается индивидуальная производительность труда работника, а мероприятия по развитию человеческого капитала и оснащению механизированными средствами усиливают этот эффект, но не формируют самостоятельный доминирующий вектор применения VR/AR.

Раздел D «Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха» (Далее – Раздел D) также свойственна последовательность этапов бизнес-цикла, однако основным производственным звеном является бригада. Но следует отметить то, что производительность труда бригады складывается из производительности труда одного человека. Работникам в данной отрасли свойственно развитие профессиональных навыков для обеспечения высокой эффективности и результативности труда. Поэтому большинство рассмотренных решений направлены на то, чтобы научить сотрудника наиболее эффективным приемам выполнения работ. В частности, работника можно обучить наиболее эффективным приемам за счет AR/VR технологий.

В части раздела Н «Транспортировка и хранение» (Далее – Раздел Н), ключевой направленностью иммерсивных технологий является обеспечение качественной работы средств механизации труда, перемещения и обработки товара. Поэтому большинство рассмотренных решений операционализируются на организацию работы таким способом, чтобы минимизировать механические повреждения, как и оборудования, так и товара, за счет управления человеческими факторами (обучение персонала) и непосредственно организацию безопасной работы с оборудованием, так как основной источник заработка таких бизнес-моделей – безопасность и качество перемещения и хранения товара.

Раздел D связан принципами эффективного управления оборудованием и подготовки персонала. В первую очередь, производительность труда в данном секторе основывается не на количестве переданной энергии, а на объеме и качества подключения инженерных сетей. Инженерные сети являются ничем иным как средством и результатом приложения механизированного или ручного труда в корректном объеме и в соответствии с техническими регламентами.

Раздел S «Предоставление прочих видов услуг» (Далее – Раздел S) имеет меньшую операционализацию, так как фокусируется на реализации вспомогательных и обеспечивающих функций, в том числе за счет консультационных и управленческих советов и решений. Основной бизнес-уклон в данных индустриях основывается на частных решениях в производственных потоках и подготовке персонала для работы в новых условиях.

Таким образом, с авторской позиции, предлагается следующая систематизация отраслевой (по ОКВЭД2) направленности ключевых мер по повышению эффективности:

- Индивидуализированные отрасли (А, Е) – VR/AR как инструмент развития человеческого капитала и охраны труда;

- Производственные отрасли (B, C) – VR/AR как средство оптимизации потока создания стоимости;
- Коллективные отрасли (D) – VR/AR как инструмент стандартизации и тиражирования трудовых практик;
- Логистические отрасли (H) – VR/AR как инструмент минимизации транзакционных и операционных издержек;
- Сервисные отрасли (S) – VR/AR как поддерживающий элемент в управленческих и вспомогательных функциях.

Резюмируя вышесказанное, рассмотренные способы и сценарии применения виртуальной и дополненной реальности имеют разную глубину внедрения. Из сопоставления и анализа практических способов применения можно заключить то, что виртуальная реальность более глубоко трансформирует бизнес-процессы, когда дополненная реальность фокусируется на точечных решениях на уровне процесса или группы последовательных процессов.

Во-вторых, данные различия объясняются тем, что механика реализации решений на базе дополненной реальности ограничена материальными устройствами воспроизведения контента. Гарнитура и аппаратура виртуальной реальности – это объемные устройства, когда для дополненной реальности требуется устройство считывания информации (телефон, очки, шлем и т.д.), т.е. такие гаджеты, которые всегда находятся у человека на рабочем месте, не занимают много физического пространства и эргономичны.

В-третьих, существует выраженная специализация отраслей народного хозяйства, из-за которой устойчиво формируется направленность применения цифровых решений. Объясняются данные различия особенностями труда и применяемыми орудиями труда. Однако существует также проблематика внедрения указанных технологий в бизнес-деятельность (см. таблица б).

Таблица – 3 Проблематика внедрения иммерсивных технологий в научных трудах

Источник	Проблематика	Ключевая проблемная область
М. Эсваран, М. Бахубалендруни [152]	Отсутствие системного подхода к управлению цифровыми проектами, затрагивающими бизнес-процессы. Неразработанность методологий адаптации персонала к иммерсивным интерфейсам. Неясность требований к компетенциям для работы с AR/VR в промышленных условиях.	HR-менеджмент: дефицит стандартизированных программ обучения и оценки технологической грамотности.
Б. Марк, Э. Раух, Д. Мэтт [154]	Отсутствие стратегических рамок для интеграции AR/VR в бизнес-процессы. Неопределенность в выборе метрик оценки ROI и KPI, связанных с цифровыми проектами.	Методология управления инновациями: отсутствие стандартов для проектов, затрагивающих цифровизацию.
Ш. Махала Н. Шамье-Глицинский, Т. Круликовски [175]	Отсутствие дорожных карт внедрения AR/VR, учитывающих поэтапную адаптацию предприятия. Неопределенность в расчете сроков окупаемости и рисков дестабилизации производства. Страх радикальных изменений, неопределенность сроков адаптации, отсутствие практического опыта внедрения.	Управление изменениями: пробелы в методологиях постепенной цифровизации без нарушения операционной деятельности.
Т. Зигарт, С. Шлунд, Ф. Холли и др. [140,176,187]	Конфликт между традиционными моделями научного менеджмента (оптимизация под текущую эффективность) и требованиями к гибкости при внедрении AR/VR. Неготовность предприятий к инвестициям в AR/VR из-за ориентации на устаревшие модели научного менеджмента.	Инвестиционная стратегия: отсутствие методологий сбалансированного распределения ресурсов между инновациями и текущими задачами.
В. Эгбенгву, В. Гарн, Дж. Крис [124]	Технические ограничения (высокая стоимость, требования к сетям) и организационно-культурное сопротивление персонала. Непроработанность технико-экономических моделей внедрения AR/VR: неясность в выборе оборудования, интеграции с legacy-системами, расчете TCO из-за отсутствия методологических рамок.	Техническая инфраструктура, организационная культура
А. Керхер, Д. Арнольд, К. Принц, В.	Теоретическая ограниченность исследований [148] и фокусируются на дидактическом описании возможных сценариев применения виртуальной [149]	Методология, границы исследований, низкая доля изучения практической части,

Куленкетгер [146,148,149]	и дополненной реальности [146] без осмысления существующего опыта.	формализация вызовов и их преодоление.
---------------------------	--	--

В рамках исследования проанализированы вызовы и проблемы, с которыми столкнулись промышленные компании (см. приложение Б). Были определены следующие категории проблемных областей: проблемы интеграции и данных, технологические и аппаратные ограничения, организационно-кадровые вызовы и методология внедрения и измерения эффективности. На основе анализа, методические проблемы доминируют (в 60% случаев), чем подчеркивает необходимость стандартизированных методических материалов, которые бы позволили разрешить противоречия. Исходя из данных замечаний, востребованность методики управления внедрением дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессы определяется:

- отсутствием качественной методики внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в промышленности. Нет принятых фреймворков для оценки степени влияния технологий на бизнес-процессы. Существует неопределенность в выборе модели внедрения: масштабные изменения (виртуальная реальность) или точечные улучшения (дополненная реальность) [127, 176];

- дефицитом сквозных программ подготовки управленческих кадров и персонала в части синхронизации технологических трендов и требований к технологиям современного подхода к повышению операционной эффективности [168,185];

- необходимостью проработки вопросов управления изменениями в технологических и производственных проектах [123];

- недостаточным описанием существующих сценариев, моделей, способов применения виртуальной и дополненной реальности, что усиливает конфликт традиционной модели менеджмента с инновациями. Для инвестирования в технологическое развитие предприятиям зачастую требуется сопоставимая финансово-экономическая модель проекта, а также

экономическое и управленческое обоснование необходимости изменений. в данном случае проявляется то, что из-за нехватки информации и исследований в области иммерсивных технологий в промышленности, ограничивается инновационный и инвестиционный потенциал промышленных компаний.

Наиболее выраженная проблематика, препятствующая внедрению технологий, является: законодательные проблемы (импортозамещение, ограниченность поставок), отсутствие сертификации, социальные барьеры (длительность процесса согласования экономической и проектной части инноваций, отсутствие подготовленных кадров, отсутствие релевантного опыта применения или описания опыта) и проистекающие из этого экономические барьеры и ограничения, технические и эргономические характеристики оборудования.

Отдельного внимания в контексте управления изменениями заслуживает социально-психологический аспект внедрения иммерсивных технологий. Изначальное сопротивление персонала, часто обусловленное технологическим принятием (в соответствии с положениями теории технологического принятия Ф. Дэвиса), недоверием к новым инструментам и опасениями увеличения когнитивной нагрузки, в успешных кейсах сменяется адаптацией и принятием по мере получения ощутимых выгод. Эмпирические данные (см. Приложение Б) свидетельствуют, что при грамотном сопровождении (поэтапное обучение, вовлечение в тестирование, наглядная демонстрация упрощения рутинных задач) психологическая нагрузка не возрастает, а перераспределяется: снижается стресс от необходимости удерживать в памяти сложные инструкции или опасаться ошибок, поскольку AR/VR-системы предоставляют контекстную поддержку и мгновенную обратную связь. В исследованиях Р. Дханалакшми, Ч.Д. Май, Б. Лата, Н. Виджаярагаван [123], А Соснило и М. Устюжаниной [91] и А. Ивановой [39] отмечается, что восприятие технологий персоналом эволюционирует от настороженности к признанию их в качестве инструмента, что в конечном итоге способствует не только росту производительности, но и повышению

удовлетворенности трудом и вовлеченности в процессы инновационного развития предприятия.

Эмпирические исследования и практический опыт мышленного применения AR/VR-технологий свидетельствуют о постепенной трансформации отношения работников по мере их адаптации к цифровой среде. По мере накопления пользовательского опыта и повышения цифровых компетенций персонала уровень сопротивления снижается, а восприятие данных технологий смещается от факторов риска к инструментам поддержки трудовой деятельности, обучения и повышения операционной эффективности.

Таким образом, формализация научно-исследовательской проблемы может быть определена в следующей трактовке: необходимость создания комплексной методологии управления внедрением сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессы промышленных предприятий, включающей стандартизированные подходы к оценке экономической эффективности, управлению изменениями, подготовке персонала и преодолению организационно-технологических барьеров. Основным препятствием является методологическая неопределенность (60% выявленных случаев), что указывает на критическую необходимость разработки стандартизированных методических материалов и инструментов оценки эффективности AR/VR.

3.2 Формирование методики внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессы промышленных предприятий

Разработка и внедрение эффективной модели управления бизнес-процессами с интеграцией инновационных технологий является сложной и многоплановой задачей. Для обеспечения устойчивого развития промышленного предприятия необходимо применять современные теории и методологии управления, способные учитывать динамику технологической

трансформации и требования к повышению операционной эффективности. Эффективное управление предполагает системный мониторинг процессов на всех уровнях – со стороны руководства, владельцев процессов и персонала, непосредственно вовлеченного в их выполнение. При этом оптимизация и реинжиниринг бизнес-процессов должны сопровождаться закреплением достигнутых результатов и повышением операционной устойчивости предприятия.

Наиболее значимые препятствия к масштабированию и тиражированию опыта внедрения иммерсивных технологий связаны с:

- обоснованием инвестиционных решений – оценка экономической эффективности и целесообразности замещения традиционных процессов технологическими решениями;
- разработкой стратегии внедрения – определение масштабов изменений, последовательности интеграции технологий и методов минимизации рисков дестабилизации существующих бизнес-процессов;
- управлением изменениями – создание программ адаптации персонала, синхронизация технологических и организационных изменений с существующей структурой предприятия;
- методологическими аспектами – выбор подходов к измерению эффективности и KPI, интеграция AR/VR в процессный контроль и операционное управление.

Для решения обозначенной научно-исследовательской задачи автором разработана системная методика управления внедрения иммерсивных технологий в бизнес-процессы промышленного предприятия. Методика включает комплексный подход к обоснованию инвестиций, последовательной интеграции технологий, управлению человеческим капиталом и оценке операционной и экономической эффективности внедряемых решений. В отличие от существующих подходов, в которых технологии дополненной и виртуальной реальности рассматриваются преимущественно как вспомогательные элементы цифровых экосистем, в настоящем исследовании

обоснована возможность их самостоятельного применения в качестве факторов повышения производительности труда.

Предложенный подход позволяет повысить управляемость инновационными процессами, обеспечивать устойчивость производственных потоков и создавать воспроизводимую модель для масштабного тиражирования AR/VR-решений в различных подразделениях и отраслях промышленности (см. рисунок 17).



Рисунок 17 – Методика внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессы

Рассмотрим подробнее компоненты данной методики и раскроем наполнение каждого элемента. В первую очередь, методика базируется на принципах поэтапного процессного подхода (последовательные стадии анализа), итеративном методе управления У. Деминга PDCA (plan–do–check–act), универсальности методического решения (возможность адаптации к различным отраслям и типам производственных процессов), аналитическая основа для принятия решений (системный анализ) и ориентацию на результат оценку предлагаемых решений.

Методика состоит из 6 системных шагов-этапов, каждый из которых существует в конкретных границах проектного управления. Особенностью модели является прохождение процесса от разработки проекта до реализации

улучшений. Теоретическая граница методика основывается на предпосылках о том, что цикл PDCA применяется при разработке программы повышения операционной эффективности и задает определенные этапы проектирования.

На основании данных предпосылок разрабатываемой методики, автором определены выделены следующие этапы:

1. Этап 1 – Оценка уровня производительности труда, инноваций, вовлеченности персонала.

Первый этап характеризуется оценкой готовности предприятия к внедрению технологических новаций в конкретный бизнес-процесс или группу связанных процессов в цепочке создания ценности. Настоящий этап представляет собой комплексную диагностику текущего состояния бизнес-процессов предприятия, нацеленную на формирование объективной и многоаспектной картины его операционной деятельности. Основная задача данного этапа состоит в оценке готовности организации к трансформации и позволяет выявить узкие места через призму четырех ключевых потенциалов: технико-технологического, инновационного, организационно-экономического и технологического.

Диагностика осуществляется путем мониторинга и анализа системы количественных и качественных показателей, таких как общая эффективность оборудования (ОЕЕ), производительность труда, уровень брака, себестоимость единицы продукции, объемы незавершенного производства и рентабельность. Анализ позволяет не только констатировать текущее состояние, но и определить возможности для интеграции перспективных технологий, таких как виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальность, с целью раскрытия резервов производительности и повышения общей конкурентоспособности (см. таблица 4).

Таблица 4 – Параметры бизнес-модели для оценки этапа №1

Группа параметров	Параметр и способ оценки
Технико-технологические параметры.	Фокус оценки: Определение соответствия материально-технической базы современным производственным требованиям. Группа параметров.

	<p>параметров выявляет технологические разрывы и уровень зрелости производственной инфраструктуры.</p> <p>Оценка проводится через аудит производственных линий, анализ технической документации и бенчмаркинг. Ключевые индикаторы включают производственную мощность, уровень автоматизации и интеграции цифровых решений, что в совокупности формирует индекс цифровизации производства.</p>
Инновационный потенциал.	<p>Фокус оценки: Анализ способности предприятия к генерации, ассимиляции и внедрению технологических и управленческих инноваций. Оценивается не только текущая деятельность (НИОКР), но и культурная готовность к изменениям.</p> <p>Используется анализ отчетов по НИОКР, глубинные интервью с сотрудниками и руководством для оценки корпоративной культуры. Критически важными являются параметры, характеризующие адаптационную гибкость организации и экономическую доступность внедрения новшеств.</p>
Организационно-экономический потенциал.	<p>Диагностика операционной и экономической эффективности бизнес-процесса. Эта группа параметров дает интегральную оценку того, насколько оптимально организовано использование ресурсов (трудовых, материальных, финансовых) и как это отражается на финансовых результатах.</p> <p>Опирается на анализ финансовой и операционной отчетности. Ключевые метрики, такие как производительность труда, рентабельность, ОЕЕ и объем НЗП, предоставляют строго количественное основание для выводов об эффективности.</p>
Технологический потенциал.	<p>Узкая оценка готовности инфраструктуры и кадров к внедрению конкретных цифровых решений – в данном случае, технологий VR/AR. Данный блок переводит оценку из плоскости общей диагностики в плоскость практической реализации.</p> <p>Блок охватывает оценку ИТ-инфраструктуры (вычислительные мощности, сети), квалификационный профиль персонала в области цифровых технологий и зрелость процессов взаимодействия с внешними технологическими партнерами.</p>

Последовательный анализ по предложенным группам параметров позволяет перейти от констатации разрозненных фактов к формированию комплексного заключения о готовности бизнес-процесса к цифровой трансформации и внедрению прорывных технологий. После завершения данного этапа происходит переход к этапу выявления проблем и отклонений в бизнес-процессах;

2. Этап 2 – Диагностическая идентификация дисфункций и кодификация стратегических операций (бизнес-процессов) в производственном потоке.

В архитектуре современной производственной экосистемы, где эффективность потока создания ценности выступает катализатором конкурентоспособности, второй этап модели представляет собой фундаментальный диагностический импульс. Его миссия – не просто поверхностная инспекция, а глубокая, многоуровневая деконструкция операционного ландшафта, направленная на выявление скрытых дисфункций, оптимизационных резервов и потенциальных траекторий трансформации. Если первый этап обеспечивает холистрический обзор корпоративной идентичности, то данный этап эволюционирует в количественно-квалифицированную симуляцию бизнес-процессов, где эмпирические данные трансформируются в практические идеи для стратегического пилотирования.

Этап опирается на парадигму управления, основанного на фактических данных, где диагностика выступает не как статичный аудит, а как динамичный процесс, интегрирующий кросс-функциональные инструменты для картирования, анализа и прогнозирования. Ключевые методологии включают: картирование потока создания ценности для визуализации материально-информационного континуума; диаграмму перемещений продукции и сырья для деконструкции логистических петель; хронометраж операций для метризации временных метрик; теорию ограничений через анализ узких мест; диаграмму Парето для определения доминирующих факторов потерь; диаграмму Исикавы (рыбья кость) для причинно-следственной декомпозиции; метод «5 почему?» (или его эволюцию в «5 поэтому») для корнево-причинного погружения; и диаграмму Ямазуми для балансировки тактильного труда. Для минимизации рисков и фокусировки усилий рекомендуется селекция пилотного бизнес-процесса – прототипа, где диагностика служит предиктором масштабируемых улучшений. Сравнение с лучшими практиками выступает как инструмент разведки конкурентов, просматривая отраслевые эталоны для калибровки процессов по отношению к мировым лидерам, в то время как проверка паспортных характеристик оборудования (аудит мощностей) обеспечивает контроль осуществимости, минимизируя технический долг.

В центре этапа лежит систематическая оценка производственного состояния: от картирования взаимосвязей бизнес-процессов на макроуровне до микроуровневого анализа траекторий сырья и материалов, оценка производственного резерва: от макроэкономических индикаторов (возврат инвестиций, чистая приведенная стоимость, период окупаемости) до микрооперационных (сокращение времени цикла, снижение уровня ошибок через направляемую сборку в дополненной реальности). Полученная база знаний – это не артефакт, а стратегический актив: «снимок» текущего операционного спектра, который подвергается строгому анализу на предмет отклонений. Здесь выявляются технологические заделы – неиспользованные мощности, подлежащие цифровизации; потенциал экспоненциального роста производительности труда. Этап не фокусируется просто на выявлении проблем, а является катализатором устойчивой операционной резилентности.

В таблице 8 представлены инструменты и методы для реализации этапа № 2 в модели (см. таблица 5).

Таблица 5 – Таксономия диагностических инструментов для деконструкции бизнес-процессов

Направленность диагностики	Диагностические инструменты и методы анализа состояния процесса
Состояние процесса.	<p>Диаграмма Парето (для приоритизации 80/20 потерь); мозговой штурм (для генерации гипотез в cross-functional командах); анализ проблем методом «5 почему?» / «5 поэтому» (для итеративного погружения в корневые причины); диаграмма Исикавы (для категоризации факторов в cause-effect сети); диаграмма движения сырья и материалов в потоке («Спагетти») (для визуализации неэффективных траекторий); хронометраж (для метризации temporal variance); картирование материального и информационного потока создания ценности (для end-to-end value stream деконструкции); анализ узких мест методом бутылочного горлышка, сравнение с лучшими практиками выполнения операций.</p>
Управленческая диагностика.	<p>Производственный анализ и планирование на горизонте, наличие системы встроенного качества, применение выталкивающей (push) или толкающей (pull) систем производства, управление запасами (буферный, страховой,</p>

	неснижаемый, супермаркет-модели для Just-in-Time; система декомпозиции целей) для декомпозиции целей; балансировка процесса через инструмент диаграммы Ямазуми; численность персонала в потоке; оценка количества затрачиваемого труда, номенклатура применимых орудий труда и д.р.
Визуальный менеджмент.	Информационный центр, информационные стенды, цепочка помощи, матрица компетенций персонала в потоке

Таблица 5 представляет собой структурированную таксономию – систематическую классификацию диагностических артефактов, адаптированных для многоуровневого анализа производственных экосистем. Она оперирует триадной парадигмой направленностей: (1) фокус на состоянии процесса как на операционном ядре; (2) управленческая диагностика как на стратегическом контроле; (3) визуальный менеджмент как на коммуникативном слое. Каждая категория декомпозирована на подмножество инструментов и методов, обеспечивая гранулярность от эмпирического сбора данных до интерпретативного моделирования.

Результаты этапа выходят далеко за рамки диагностики, формируя мультидисциплинарный нарратив для управленческого принятия решений. Квантифицированные метрики позволяют не только локализовать узкие места, но и моделировать сценарии для симуляции пост-оптимизационных состояний. Качественные идеи, извлеченные из причинного-следственного анализа, генерируют дорожные карты по устранению потерь, балансировке линий и усилению производственной культуры. В итоге, этап кодифицирует перечень ключевых операций – стратегических нод в цепочке создания стоимости – обеспечивая переход к фазам реинжиниринга;

3. Этап 3 – Структурная схема внедрения траекторий дополненной и виртуальной реальности: Формирование рабочего плана и количественная оценка резервов производительности.

В динамичной парадигме цифровой трансформации, где иммерсивные технологии выступают как нейронные импланты операционной экосистемы, третий этап модели эволюционирует от диагностического сканирования к

проактивной имплементации улучшений. Этот этап – не линейный алгоритм, а повторяющийся союз стратегического предвидения и опытной проверки, сосредоточенный на конкретизации внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в целевые бизнес-процессы или их группы. Эмпирическая основа этапа – не абстрактная оценка, а строгая разбивка резервов производительности труда, объединяющая эконометрические и производственные показатели для создания видения конечного состояния: образа после преобразования, где внедрение технологий дополненной и виртуальной реальности запускает скачок в эффективности и устойчивости.

Этап составления перечня мероприятий по улучшениям опирается на рамки превосходства в управлении проектами, адаптированные к гибридной модели бережливого производства и цифрового подхода, где запуск проекта развивается в многофазовый цикл: от постановки целей в формате конкретных, измеримых, достижимых, значимых и ограниченных по времени, и формального начала до назначения заинтересованных сторон.

Данный этап нацелен на разработку конкретного решения по имплементации в бизнес-процесс или группу бизнес-процессов технологий дополненной и виртуальной реальности. В основе данного этапа лежит оценка резерва производительности труда и экономических и производственных показателей по выбранным операциям, формирование «образа результата» бизнес-процесса после внедрения улучшений. В таблице 9 приводится характеристика контрольных точек на этапе составления перечня мероприятий (см. таблица 6).

Таблица 6 – Таксономия контрольных точек в AR/VR-оптимизации: Фреймворк итеративной имплементации

Подэтап	Ключевые действия	Результат подэтапа
Инициация.	Постановка целей проекта в формате конкретных, измеримых, достижимых, значимых и ограниченных по времени; утверждение бюджета; издание приказа о начале проекта.	Определен перечень ответственных лиц, установлена приказом ответственность.

Планирование.	Назначение команды с матрицей ответственности; выбор методологии реализации (внешние эксперты против внутренних сил, с гибридными вариантами).	Сформирована команда проекта, согласован подход к реализации проекта, сформированы документы проекта, составлен график проекта.
Анализ.	Сравнение с лучшими практиками (просмотр конкурентов и эталонов через отраслевые отчеты); проверка оборудования по паспортным характеристикам с подготовкой отчетов аудита.	Осуществлен анализ лучших практик выполнения операций, проведено кабинетное тестирование реализации проекта или тестирование в производственных условиях изменений.
Оценка резерва.	Расчет ключевых показателей (например, время завершения, уровень дефектов); пробное тестирование прототипов дополненной и виртуальной реальности с сбором петель отзывов заинтересованных сторон.	Утвержденные KPI бизнес-процесса, отчет о пилотном тестировании проекта и рекомендации по доработке бизнес-процесса.
Подготовка к реализации улучшений.	Управление изменениями (модель осознание-желание-знание-способность-укрепление или восьмишаговая схема); корпоративное обучение (симуляции в виртуальной реальности для повышения квалификации); мониторинг подготовительных вех.	Определены мероприятия по внедрению AR/VR-решений, обученные сотрудники готовы к внедрению, осуществлено управление изменениями и информирование сотрудников, утвержден порядок оценки динамики KPI (рост производительности)

Таблица 6 представляет структурированную схему контрольных вех, ориентированную на поэтапную организацию внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в производственные потоки. Классификация опирается на принципы гибкого и бережливого улучшения качества, где каждый подэтап – это контролируемая точка, минимизирующая расхождения и максимизирующая согласованность. Пять подэтапов образуют последовательный, но повторяющийся конвейер, от высокого уровня запуска к земному уровню подготовки, с петлями обратной связи для адаптивных корректировок. Ключевые действия охватывают межфункциональные результаты (например, матрица ответственности для управления, сравнение

для внешней проверки), объединяя количественные (расчет показателей) и качественные (отзывы заинтересованных сторон) направления;

4. Этап 4 – Операционализация траекторий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессе: Мониторинг временных рамок и исполнения.

Суть этапа – не формальный надзор, а предвидящая организация мер, направленных на встраивание технологий дополненной и виртуальной реальности в структуру процессов, с акцентом на минимизацию отклонений и максимизацию приспособляемости. Если предыдущие фазы закладывали основу обследования и планирования, то здесь возникает производственная алхимия: преобразование абстрактных чертежей в осязаемые результаты, где первые улучшения служат толчком для цепной реакции эффективности.

Этап строится на принципах системного управления проектами, приспособленных под смешанные условия цифровой преобразования, где внедрение развивается в многоуровневый цикл: от начальной установки оборудования и программного обеспечения с интеграцией в существующие платформы (системы планирования ресурсов предприятия, управления отношениями с клиентами, автоматизированного контроля над производственными процессами) до всестороннего оповещения коллектива через мультимедийные повествования (презентации, собрания, буклеты, видео, инструкции).

Управление изменениями на данном этапе – не второстепенная функция, а центральный стержень: назначение специализированных координаторов, разработка протоколов общения с регулярными обновлениями и каналами обратной связи, что снижает психические барьеры и раздражение. Обучение выступает как вложение в человеческий капитал: от создания онлайн-курсов и тренажеров в виртуальной реальности до мастер-классов, обеспечивающих плавный переход к повседневному использованию. Технический контроль – это бдительный надзор над надежностью: регулярные проверки гарнитур, датчиков и программного обеспечения, с системами отслеживания сбоев и

оптимизацией производительности для предварительного устранения простоев. Завершает цикл анализ опыта пользователей: сбор данных через опросы, интервью и фокус-группы, где замечания и предложения превращаются в повторяющиеся корректировки, подстраивая решения под особенности бизнеса.

В рамках текущего контроля необходимостью является реализация мер и действий по имплементации виртуальной и дополненной реальности (см. таблица 7).

Таблица 7 – Классификация контрольных точек в оптимизации процессов: схема поэтапной операционализации

Подэтап	Ключевые действия	Результат подэтапа
Внедрение первых изменений	Установка и настройка AR/VR-оборудования и программного обеспечения. Интеграция AR/VR с существующими системами (ERP, CRM, SCADA).	AR/VR-решение работает на пилотном участке. Первые данные об эффективности использования.
Информирование сотрудников о реализованных изменениях	Проведение презентаций и собраний для объяснения изменений. Создание информационных материалов (буклеты, видео, инструкции).	Персонал понимает, зачем внедряются AR/VR-технологии. Снижение сопротивления изменениям.
Обучение и переподготовка персонала	Разработка учебных программ (онлайн-курсы, VR-тренажеры). Проведение обучающих сессий и мастер-классов.	Персонал готов к использованию AR/VR в повседневной работе/Повышение квалификации сотрудников.
Управление изменениями	Назначение ответственных за управление изменениями (change-менеджеры). Разработка плана коммуникаций (регулярные обновления, обратная связь).	Принятие изменений сотрудниками. Снижение количества конфликтов и недовольства.
Технический контроль за работоспособностью AR/VR	Регулярная проверка оборудования (гарнитуры, датчики, ПО). Настройка системы мониторинга для отслеживания сбоев. Оптимизация производительности AR/VR-решений.	Минимизация простоя оборудования из-за технических сбоев, обеспечение надежности системы
Анализ предложений	Сбор обратной связи через опросы, интервью и фокус-группы. Анализ предложений и замечаний.	Оптимизация AR/VR-решений под нужды бизнеса.

персонала замечаний	и		
------------------------	---	--	--

Таблица 7 представляет собой операционную таксономию – упорядоченную схему контрольных вех, ориентированную на поэтапное воплощение технологий дополненной и виртуальной реальности в производственные потоки. Классификация опирается на основы управления преобразованиями и операционного менеджмента производства, где каждый подэтап функционирует как калибровочный узел, минимизирующий риски и усиливающий гармонию;

5. Этап 5 – Методика процедурного контроля внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности

Этап мониторинга необходим для корректной оценки результата от внедренных изменений. В структуре управления цифровой трансформацией пятый этап обеспечивает системный контроль за внедрением улучшений, фокусируясь на оценке их влияния на производственные процессы. Этот этап необходим для объективной верификации результатов от интеграции технологий дополненной и виртуальной реальности, минимизируя риски отклонений и обеспечивая корректирующие действия. Основные инструменты включают диаграммы Ганта, PERT или Waterfall для отслеживания сроков; производственный анализ с формированием отчетности и плана рисков для регулярного мониторинга; а также периодический аудит работоспособности системы. Этап строится как замкнутый цикл: от фиксации ключевых метрик (время цикла, уровень ошибок, производительность труда) до сравнения фактических данных с плановыми, с вовлечением ответственных лиц. В рамках данного этапа необходимо оценить объем изменений в процессах (см. таблица 8).

Таблица 8 – Методика процедурного контроля внедрения AR/VR

Блок	Основные задачи	Ожидаемые результаты
Мониторинг динамики изменения	Отслеживание ключевых метрик процесса для контроля эффективности проектов.	Прозрачное видение динамики изменений. Своевременное принятие корректирующих мер.

результатов процесса	Выявление отклонений от плановых показателей.	Сокращение рисков, связанных с не выявленными проблемами.
Контроль за реализацией улучшений	Проверка фактического выполнения корректирующих мероприятий. Сопоставление достигнутых результатов с запланированными. Вовлечение ответственных лиц в процесс контроля.	Повышение эффективности за счет системного внедрения улучшений. Поддержка высокой исполнительской дисциплины. Объективная оценка хода и результатов внедренных мер.
Проектный и процедурный контроль	Планирование временных рамок и этапов проектов. Определение взаимосвязей и критических точек. Управление приоритетами задач и ресурсов.	Предотвращение срыва сроков и перерасхода ресурсов. Повышение точности планирования за счет визуализации и анализа зависимостей. Своевременная перестройка структуры проекта при обнаружении отклонений.
Применение производственного анализа, отчетности и плана рисков	Оценка текущего состояния производства и ресурсов. Формирование отчетности о ходе реализации проекта.	Поддержка непрерывного улучшения процессов. Уменьшение вероятности критических инцидентов. Повышение прозрачности деятельности для стейкхолдеров и руководства.
Периодический аудит работоспособности системы	Систематическая проверка соответствия реального состояния проекта изначальным планам. Выявление новых возможностей для оптимизации. Оценка эффективности принятых ранее решений	Формирование базы знаний по реализации проекта. Повышение ответственности исполнителей. Непрерывное совершенствование системы управления и методов ко

Таблица 8 систематизирует блоки контроля, обеспечивая структурированный подход к мониторингу, что позволяет отслеживать прогресс от выявления отклонений к их устранению. Характеристики таблицы подчеркивают ее практическую ценность: фазовая последовательность минимизирует пробелы в контроле; задачи интегрируют анализ и действия для оперативных решений;

6. Этап 6 – Оценка уровня влияния на высвобождение резервов производительности труда и расчет экономического эффекта. В рамках данного этапа осуществляется подготовка итоговых документов и материалов по проекту, подведение итогов и расчет экономической эффективности. По

результатам проекта принимается решение о стандартизации выполнения операции с учетом технологического приращения процесса (виртуальная и дополненная реальность в рамках бизнес-процесса).

Разработанная автором методика вносит вклад в теорию и практику управления проектами, предлагая специализированный подход для инноваций, каковыми являются иммерсивные технологии. Ее ключевое отличие от традиционных моделей управления инновационными проектами заключается в преодолении фрагментарности: вместо изолированного рассмотрения AR/VR как задачи технической интеграции, методика позиционирует внедрение как проектно-процессный фреймворк. Данный фреймворк обеспечивает системную связь между стратегическим целеполаганием (рост производительности труда) и тактической операционализацией технологий в конкретных бизнес-процессах предприятий.

Управление подобными инновационными проектами требует учета их специфики, что нашло отражение в структуре методики:

- методика формализует работу с двойной неопределенностью — технологической (динамичное устаревание решений) и организационной (вариабельность принятия персоналом) реализуется циклы диагностики и итеративной верификации;

- разработанный автором фреймворк учитывает экосистемный характер проектов, требующих координации внутренних подразделений (производство, информационные технологии, управление персоналом, управление финансовыми показателями предприятия и проекта) и внешних акторов (поставщики технологий и программного обеспечения), для чего предусмотрен этап картирования заинтересованных сторон и формирования структурной схемы внедрения технологий в конкретный бизнес-процесс;

- центральное место отводится управлению знаниями и компетенциями как критическому активу, что воплощено в последовательной

оценке инновационного потенциала персонала и последующем развитии цифровых навыков в процессе операционализации технологий.

Предложенный подход трансформирует внедрение сквозных цифровых иммерсивных технологий из задачи закупки оборудования в комплексный процесс организационного обучения и адаптации, создавая необходимые условия для раскрытия их полного производительного потенциала.

Приведенная выше методика поиска резервов производительности и внедрения операционных улучшений характеризуется наличием механизма выявления и оценки возможностей повышения производительности труда. В основе оценивания и принятия решения лежат принципы анализа технико-технологического, организационно-экономического, инновационного и технологического потенциалов предприятия.

Во-первых, разработанная методика основывается на принципах цикличности, непрерывности, сквозной аналитике и универсальности. В первую очередь, цикличность в модели необходима для того, чтобы опыт реализации проекта не был частным, обособленным. Опыт реализации проекта востребован не только в рамках одного предприятия или одного бизнес-проекта. Показателем и критерием эффективности методики повышения производительности труда за счет запуска технологических проектов является повторяемость результата при прочих условиях, а также наличие характерных границ проекта;

Во-вторых, исходя из данной предпосылки формируется принцип непрерывности. Данный принцип основывается на том, что методика является закрытой, состоящей из конкретных этапов, конкретного перечня действий и конкретного объема выполняемых работ. Каждый определенный и описанный аспект модели является выверенным и утвержденным этапом. Не исключается, что в рамках бизнес-процесса или из-за особенности производственной системы предприятия потребуется внести изменения в методологию, например, изменив порядок или состав мероприятий между

этапами, то в данных случаях, внедрение изменений допустимо при сохранении логики и порядка реализации проекта;

В-третьих, производится сквозной анализ процесса для принятия решения о реализации проекта. В рамках данного подхода, особенностью оценки процесса является то, что осуществляется оценка показателей бизнес-процесса в разных приближениях и точках зрения. Подобный подход позволяет получить полную картину состояния процесса и возможностей для его улучшения;

В-четвертых, реализация принципа универсальности методики означает, что модель и методика реализации проекта по улучшениям может быть использована к любому бизнес-процессу, как и в рамках одного предприятия, так и в рамках отрасли, или в рамках совсем другого предприятия и других отраслей. При этом, изменения модели при адаптации или тиражировании будут минимальны, поскольку настройки модели адаптивны и управляемы.

Исходя из этого, решаются поставленные и выявленные ранее управленческие проблемы: отсутствие методики комплексной реализации технологического проекта, разработка воспроизводимого подхода к реализации проектов, формирования программы реализации проекта, основанного на точных данных о состоянии процесса и выбора точного места для внедрения улучшений. Вместе с тем, реализация принципа анализа данных позволяет оперировать конкретными значениями производительности и результативности бизнес-процесса во времени, а также с и финансовой стороны вопроса оценить и спрогнозировать изменения эффективности и рассчитать экономический эффект.

Важным аспектом успешного внедрения иммерсивных технологий является система измерения и оценки результатов. Управление должно разработать КРІ (ключевые показатели эффективности), которые позволят оценить влияние новых технологий на производственные процессы и финансовые показатели компании. Предложенная методика позволяет лицам, принимающим решения, анализировать степень взаимозависимости

различных факторов, влияющих на производительность, что способствует пониманию комплексного воздействия изменений одного процесса посредством AR/VR в одной области на другие.

На основе полученных данных и анализа операций, методика позволяет разработать конкретные и целенаправленные мероприятия по повышению производительности труда на одном процессе или группе процессов с использованием AR/VR. Благодаря чему решается управленческая проблематика корректной оценки влияния иммерсивных технологий на структуру затрат и общую экономическую устойчивость предприятия. Разработанная и предложенная методика позволяет использовать разрешить данное противоречие через предложение качественно новой формы реализации проекта и оценки.

3.3 Организационно-экономический механизм трансформации системы менеджмента предприятия при внедрении иммерсивных технологий и рекомендации по имплементации методики

Иммерсивные технологии трансформируют производительность труда через мультипликативный эффект: снижение издержек, повышение качества и перераспределение трудовых ресурсов. Однако их внедрение требует учета контекстных факторов – от цифровой грамотности персонала до экологической валидности исследований. Дальнейшие работы должны интегрировать междисциплинарные подходы, соединяя инженерные разработки с поведенческой экономикой. Так, необходимо обозначить местоположение методики в системе экономических отношений (см. рисунок 18).



Рисунок 18 – Положение методика в системе экономических отношений

Предложенная методика внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности (AR/VR) в бизнес-процессы представляет собой системный фреймворк, интегрирующий диагностику, планирование, реализацию и контроль. Таблица ниже структурирует ключевые этапы, акцентируя распределение ролей, временные рамки и ожидаемые результаты процесса в формате дорожной карты (см. таблица 9).

Таблица 9 – Дорожная карта по имплементации иммерсивных технологий в бизнес-процессы

Этап	Ключевые действия	Актеры	Сроки	Ожидаемый результат
Оценка уровня производительности труда, инноваций, вовлеченности персонала.		Руководство, аналитики.	2-4 недели.	Проведена оценка, составлено первичное понимание состояния производственной системы.
Диагностическая идентификация дисфункций и кодификация стратегических операций в	Картирование потоков ценности, анализ узких мест (Парето, Исикава, «5 почему»). Выбор пилотного процесса.	Руководитель производственного отдела, эксперты,	2-4 недели.	Составлена карта взаимосвязей процессов; идентифицированы резервы производительности.

производственном потоке.		Проектный менеджер.		
Структурная схема внедрения траекторий дополненной и виртуальной реальности: Формирование рабочего плана и количественная оценка резервов производительности.	Диагностика состояния (хронометраж, Ямазуми), формирование базы знаний о процессах.	Проектный менеджер, руководство.	4-6 недель.	Утвержден план проекта по трансформации и технологизации пилотного бизнес-процесса, утверждены метрики.
Операционализация траекторий дополненной и виртуальной реальности в бизнес-процессе: Мониторинг временных рамок и исполнения.	SMART-цели, RACI-матрица, бенчмаркинг, оценка резерва (KPI-расчет, пилотное тестирование).	Проектный менеджер, ответственный персонал, ИТ-специалисты	4-6 недель.	Определены конкретные шаги и ответственные на местах по матрице ответственности за имплементацию изменений.
Методика процедурного контроля внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности.	Установка AR/VR, обучение, управление изменениями, технический аудит, анализ отзывов.	Проектный менеджер, ответственный персонал, ИТ-специалисты	6-8 недель.	Утверждены итоговые метрики для мониторинга и оценки состояния процесса.
Оценка уровня влияния на высвобождение резервов производительности труда и расчет экономического эффекта.	Отслеживание метрик (Гантт/PERT), аудит, план рисков, корректирующие меры	Аудиторы, руководство, финансовый отдел.	6-8 недель.	Динамика КПЭ, составлена база знаний для масштабирования.

Реализация методики требует наличия рабочей группы в организации. Трансформация управленческих подходов к применению иммерсивных технологий в промышленности представляет собой сложный и многогранный процесс. Он требует переосмысления стратегии, инвестиций в инфраструктуру и обучение, изменения структуры управления, усиления межфункционального сотрудничества, создания системы измерения результатов и фокуса на безопасности и этике. Требования и наполнение рабочей группы представлено в таблице 10 (см. таблица 10).

Таблица 10 – Требования к составу рабочей группы по имплементации иммерсивных технологий в бизнес-процессы

Требование	Характеристика
Управленческая проблема	<p>1. Исчерпание доступных резервов роста производительности труда. Потребность в поиске новых, технологических решений по повышению операционной эффективности;</p> <p>2. Необходимость адаптации бизнес-процессов к условиям цифровизации и внедрения инновационных технологий;</p>
Объект управления	Бизнес-процессы предприятия, включая производственные, обучающие и управленческие процессы, которые могут быть оптимизированы с использованием иммерсивных технологий (VR/AR).
Субъект управления	<p>Руководство предприятия, инициативная рабочая группа, отделы цифровизации, ИТ-специалисты, и сотрудники, задействованные в процессах внедрения.</p> <p>Ключевая роль «Чемпиона технологий»: В группу стоит включить сотрудника, который выступает как внутренний энтузиаст и мост между командой и остальным персоналом, снижая сопротивление изменениям.</p>
Цель управления	<p>Повышение производительности труда за счет внедрения иммерсивных технологий, оптимизация бизнес-процессов, снижение издержек и повышение конкурентоспособности предприятия.</p> <p>Помимо повышения производительности, цель может включать формирование цифровой культуры предприятия, где инновации становятся частью «Корпоративной ДНК».</p>
Границы процесса	Внедрение иммерсивных технологий ограничено конкретными бизнес-процессами, выбранными для оптимизации
Границы проекта	Проект охватывает этапы от анализа потребностей и разработки концепции до пилотного внедрения, оценки результатов и масштабирования на другие подразделения.
Компетенции участников рабочей группы	<p>1. Технические навыки: знание VR/AR-технологий, IoT, больших данных;</p> <p>2. Управленческие навыки: опыт управления проектами, Agile-методологии;</p> <p>3. Отраслевые знания: понимание специфики бизнес-процессов предприятия;</p> <p>4. Эмоциональный интеллект: Способность управлять стрессом команды в условиях экспериментов с высоким уровнем неопределенности;</p> <p>5. Умение презентовать технологию как историю успеха в рамках цифровизации бизнес-процесса, а не как набор новых функций и обязанностей работника.</p>
Методология реализации проекта по улучшениям	<p>1. Классическая водопадная модель с поэтапным внедрением;</p> <p>2. Agile-подход с короткими итерациями внедрения изменений и оценке эффекта.</p>

	3. Гибкая модель, сочетающая Agile-подход для итеративной разработки и поэтапное внедрение с пилотными проектами и последующим масштабированием.
Принципы управления, в соответствии с концепциями управления по А. Файоллю, Ф. Тейлору	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разделение труда: четкое распределение ролей в рабочей группе; 2. Единоначалие: лидер проекта отвечает за принятие решений; 3. Принцип единства направления деятельности: все действия группы должны быть подчинены единой цифровой стратегии компании. 4. Дисциплина: соблюдение сроков и стандартов; 5. Научный подход к принятию решений.
Тип управления	Проектное управление с элементами Agile и бережливого производства (Lean). Мультидисциплинарность, лидерство, вовлечение заинтересованных сторон
Уровни управления	<ol style="list-style-type: none"> 1. Стратегический уровень: руководство предприятия; 2. Tактический уровень: руководители подразделений; 3. Операционный уровень: сотрудники, непосредственно участвующие в проекте.
Базовая концепция управления	Управление, ориентированное на результат, с акцентом на повышение производительности труда и операционной эффективности через внедрение инновационных технологий.
Коммуникации в проекте	<ol style="list-style-type: none"> 1. Регулярные встречи рабочей группы; 2. Использование цифровых платформ для обмена информацией; 3. Прозрачность и открытость в обсуждении проблем и достижений.

При принятии решения о запуске проекта, открытым остается вопрос финансирования проекта. В рамках исследования ранее были проанализированы источники и формы государственной поддержки технологических производственных проектов. В связи с этим, составлен график, систематизирующий формы и способы финансирования проекта по внедрению сквозных цифровых иммерсивных технологий (см. рисунок 19).



Рисунок 19 – Сценарии финансирования проекта по внедрению сквозных цифровых иммерсивных технологий

Внедрение цифровых сквозных технологий виртуальной и дополненной реальности неизбежно требует адаптации организационной структуры, поскольку данные инструменты изменяют как содержание, так и характер производственных и управленческих процессов. Традиционные модели управления, основанные на жесткой регламентации и последовательности операций, оказываются недостаточно гибкими для среды, где ключевым становится быстрый обмен информацией, визуализация задач и децентрализация принятия решений. Использование VR/AR предполагает интеграцию новых коммуникационных каналов, переосмысление распределения ролей и полномочий, а также создание условий для формирования адаптивного лидерства и проектных команд, способных функционировать в условиях высокой технологической динамики и неопределенности. Трансформация организационной структуры выступает не сопутствующим, а системообразующим условием успешного внедрения

иммерсивных технологий. В рамках данного направления, автор рекомендует следующую организационную структуру с выделением Отдела управления проектами с функциями проектного офиса (см. рисунок 20).



Рисунок 20 – Рекомендованная организационная структура для внедрения иммерсивных технологий

Рекомендованной организационной структурой (ОСУ) является линейно-функциональная модель управления. Во-первых, иерархические и функциональные ОСУ являются наиболее распространенными в промышленных организациях;

Во-вторых, данный тип ОСУ позволяет систематизировать роли и зоны ответственности на этапе старта проекта, тем самым обеспечения бесшовный переход между этапами. Так, организационным ядром, обеспечивающим практическую реализацию предложенной шестиэтапной методики и управление специфическими рисками AR/VR-проектов, выступает специализированный Отдел управления проектами (проектный офис) с расширенным функционалом. Его создание обусловлено необходимостью

преодоления междисциплинарных барьеров и координации комплексной экосистемы предприятия. Ключевые функции данного проектного офиса выходят за рамки классического мониторинга сроков и бюджетов и включают:

- стратегическое портфельное управление: отбор и ранжирование инициатив по внедрению иммерсивных технологий на основе их потенциального вклада в ключевые показатели производительности труда.

- методологическое руководство и контроль: обеспечение соблюдения логики шестиэтапной методики, адаптация ее инструментария к специфике конкретных бизнес-процессов, проведение процедурного контроля на этапах операционализации и верификации.

- управление организационными изменениями и знаниями: разработка и реализация программ обучения, формирование внутренних компетенций, сопровождение адаптации персонала, а также документирование и тиражирование успешных практик.

- экосистемная координация: синхронизация работы всех внутренних и внешних участников проекта, управление коммуникациями и разрешение кросс-функциональных конфликтов.

Предложенный Отдел управления проектами (проектный офис) трансформируется из вспомогательного координационного центра в стратегический центр технологического приращения, институционализирующий процессы внедрения иммерсивных технологий и гарантирующий их связь со стратегическими целями предприятия по повышению производительности. В отличие от классических подходов в управлении инновационными проектами и традиционными проектами (координационный или контролирующий орган), предложенный функционал данного структурного блока фокусируется на стратегический центр компетенций и цифровых изменений. Из этого следует, что Отдел управления проектами (проектный офис) становится не центром затрат, а центром ответственности за измеримый вклад в эффективность бизнеса.

В-третьих, реализация технологических и производственных проектов содержит в себе черты трансформации системы управления: сквозные технологии переопределяют не только инструменты, но и саму философию бизнес-процессов. Этот сдвиг выходит за рамки технической модернизации и классического управления проектами, затрагивая принципы взаимодействия, принятия решений и организационной культуры. Изменение системы менеджмента предприятия при внедрении иммерсивных технологий обусловлена необходимостью приспособления к новым условиям цифровой среды и изменяющимся требованиям рынка. На этом фоне особую актуальность приобретает институционализация гибких форм управления, предусматривающая создание самонастраивающейся среды, в которой ключевые бизнес-процессы не жестко регламентированы, а динамически подстраиваются под меняющиеся условия.

В-четвертых, в рассмотренном подходе выделен отдел управления проектами, который берет на себя роль адаптивного лидера. В отличие от классических моделей управления, где основной акцент делается на классических функциях управления А. Файоля, адаптивное лидерство предполагает способность руководителей действовать в условиях высокой неопределенности, устанавливать краткосрочные цели и децентрализовать принятие решений. В среде, насыщенной иммерсивными технологиями, проявляется важное преимущество: краткосрочные задачи, распределенные между командами, могут визуализироваться в VR-пространстве или дополняться AR-интерфейсами с контекстной информацией.

В условиях быстро меняющейся экономической среды предприятия, способные эффективно использовать VR и AR, получают значительные конкурентные преимущества. Будущее управления производительностью труда связано с интеграцией цифровых технологий, и VR/AR играют в этом процессе значимую роль. В настоящей части исследования разрабатывается методика внедрения AR/VR в бизнес-процессы (см. рисунок 14). Предложенная методика внедрения технологий дополненной и виртуальной

реальности с применением AR/VR-решений основывается на создании условий для запуска процесса непрерывных улучшений – циклической модели планирования и управления результативностью.

В первую очередь, данная методика решает проблематику отсутствия механизма управления производственной деятельностью предприятий, в условиях применения технологий дополненной и виртуальной реальности. Принципами указанной модели является поэтапный, универсальный подход, основанный на анализе текущего состояния процессов и выработке решений по оптимизации и совершенствованию бизнес-процесса (см. рисунок 17).

В ходе анализа экономических показателей более 60 компаний (см. приложение А, Б) до и после внедрения цифровых сквозных иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности (определены средние показатели) автором составлена таблица, отражающая ожидаемые экономические эффекты от внедрения рассматриваемых технологий в бизнес-процессы (см. таблица 11).

Таблица 11 – Ожидаемый экономический эффект от внедрения сквозных цифровых иммерсивных технологий в бизнес-процессы

Ключевые эффекты и результаты	Ожидаемый объем экономической эффективности
<p>Повышение производительности труда (в контексте выработки) через увеличение скорости выполнения задач, сборки, инспекций и других операций за счет AR/VR-инструкций, цифровых двойников и удаленного контроля. Выражается в увеличении выработки на сотрудника, сокращении времени на операции и повышении эргономики рабочих процессов.</p>	<p>Количественная эффективность: Рост производительности труда в диапазоне 15–70% (среднее: ~35%). Экономия времени: Снижение времени на операции на 15–25% (Amazon, ACGO), что эквивалентно увеличению выработки на 20–38% (Fiat Chrysler, Siemens Gamesa). Финансовая экономия: Снижение затрат на персонал на 20–30% за счет повышения выработки (Generix: ~83 заказа/чел./день; Welsh Water: совокупно 32 млн евро/год [183]). Дополнительные эффекты: Улучшение эргономики (Generix/Knapp: +15%), снижение утомляемости и повышение качества операций (Fiat Chrysler: +80% качества в AR-группе). Средний ROI: 50–200% в год при масштабировании на 100+ сотрудников, окупаемость 0.5–3 года.</p>

Сокращение времени обучения и подготовки персонала через уменьшение длительности тренингов, симуляций и адаптации сотрудников за счет виртуальных тренажеров и инструкций.	Экономия 50–93% времени очного обучения (среднее: 75%), что приводит к снижению затрат на обучение на 30–50% (например, в GE – отсутствие нужды в реальном оборудовании; в Северсталь – минимизация транспортных издержек). Общая годовая экономия: 1–3 млн руб./год на персонал (по аналогии с Сибур). ROI ~50–100% в 2–3 года.
Сокращение времени на обслуживание и ремонт (ТОиР) через ускорение инспекций, ремонтов и диагностики оборудования с помощью цифровых технологий, и цифровых инструкций.	Экономия 25–40% времени ТОиР, что снижает операционные затраты на 20–35% (например, в Drillmec – +15–20% пропускной способности линий; в HAAS – \$23 800 на партию из 240 деталей). Годовая экономия: 1–5 млн руб./год на логистику и простои. ROI: до 60% в первый год, окупаемость 1–3 года.
Снижение простоев и аварий через предотвращение остановок оборудования и инцидентов за счет симуляций и предиктивной аналитики.	Экономия 20–25% от простоев (в Сибур – 3 млн руб./год на оборудовании). Общая эффективность: снижение затрат на ремонт/аварии на 15–30%, с ROI в 1–2 года. ROI ~50–100% в 2 года.
Снижение ошибок и рисков уменьшение числа дефектов, травм и ошибок в операциях за счет симуляций и визуализации.	Экономия 25–50% от ошибок (в Wärtsilä – 40–50% времени обучения; в Boeing – -25% времени на кабели). Годовая экономия: 10–20% от затрат на качество (например, в Уралхим – знания +88.5%, снижение брака). ROI: ~133%, окупаемость <1 года.
Сокращение затрат на проектирование через переход к виртуальным моделям вместо физических, ускорение R&D.	Экономия 20–80% при переходе на цифровое проектирование (среднее: 30–40%), с ROI 6–12 месяцев (в Volkswagen – 1 млн евро/год; в Mercedes – ускорение вывода продукции на рынок на 15–20%). - ROI: 100%, окупаемость ~1 год.
Экономия на логистике и инспекциях через уменьшение количества перемещений экспертов и материалов за счет удаленного контроля	Экономия 20–50% на логистических издержках (в Стан – до 1 млн руб./сеанс). Годовая экономия: 2–5 млн руб./предприятие. ROI: с масштабом 50–100% в 2 года.

Источник: составлено автором по материалам: приложение А, Б, [43, 100-103, 114, 133, 138, 142, 149, 168, 172, 178, 184]

Рассмотренная в диссертационном исследовании операционализация, классификация функций, ролей и возможностей применения сквозных цифровых иммерсивных технологий дополненной и виртуальной реальности апробирована и внедряется в УНО «Московский Фонд реновации жилой застройки» в части бизнес-процессов контроля и мониторинга подготовки

проектной документации, инструмента обучения персонала и способа управления рабочей нагрузкой на сотрудников, применяются при проектировании объектов капитального строительства, визуализации архитектурно-планировочных и архитектурно-градостроительных решений, при проверке проектной документации, рабочей документации, проектов производства работ, поступающих от Генеральных проектировщиков и Генеральных подрядчиков, запланировано расширение охвата бизнес-процессов иммерсивными технологиями в части строительного контроля, контроля качества, инструктажа по промышленной безопасности и аналитической работы.

Применение технологий дополненной и виртуальной реальности в УНО «Московский Фонд реновации жилой застройки» позволило сократить сроки проектирования и проверки поступающей документации на 14%, повысить операционную эффективность и производительность труда проектных команд на 8%, осуществить перераспределение трудовой нагрузки и высвободить 3 ч. в мес. полезного рабочего времени сотрудников.

Применение иммерсивных технологий в менеджменте порождает целый комплекс теоретических и практических вопросов, которые могут стать объектом дальнейшего научного анализа и пополнить круг идей, связанных с цифровизацией предприятий. Необходимость глубокого изучения организационно-экономического механизма преобразования управленческих структур при интеграции VR, AR и прочих видов иммерсивных инструментов обусловлена не только востребованностью подобных решений в высокотехнологичных отраслях, но и рядом более тонких проблем. Трансформация управления через иммерсивные технологии – это не просто внедрение новых инструментов, а смена парадигмы. Бизнес-процессы становятся интерактивными, адаптивными и ориентированными на человека, что требует пересмотра стратегий, структур и корпоративной культуры. Успешные компании будут теми, кто сумеет балансировать между технологическими возможностями и человекоцентричным подходом,

превращая достижения научно-технологического прогресса в драйвер инноваций и изменений.

Выводы по главе 3

Имплементация иммерсивных технологий обеспечивает рост производительности труда за счет оптимизации процессов и человеческого капитала, подтверждая актуальность разработки методики. Анализ практики выявил, что сквозные цифровые иммерсивные технологии интегрируются комплементарно, повышая эффективность на 20-50%, но требуют системного подхода для преодоления барьеров.

Внедрение иммерсивных технологий (виртуальной и дополненной реальности) трансформирует операционную деятельность промышленных компаний через многокомпонентную оптимизацию бизнес-процессов. Эффект проявляется в синергии технологических и организационных инноваций, создающих конкурентные преимущества на трех уровнях: операционном, тактическом и стратегическом. Операционализация VR зависит от масштаба воздействия (операция/процесс/система) и степени стандартизации труда. Тактические решения фокусируются на устойчивости, стратегические – на трансформации управления через цифровые двойники, что переопределяет роль человеческого фактора: от исполнителя до элемента киберфизической системы.

Внедрение иммерсивных технологий (AR/VR) демонстрирует отраслевую дифференциацию, обусловленную спецификой производственных процессов и структурой человеческого капитала:

– Локальная оптимизация (микроуровень) (Разделы А, Е): AR/VR фокусируются на повышении эффективности отдельных рабочих мест, усиливая качество труда (ХАССП) или безопасность (опасные среды). Человеческий фактор остается ключевым: технологии компенсируют риски, связанные с индивидуальными навыками, но не заменяют их.

– Системная трансформация потоков (макроуровень) (Разделы В, С): В Разделе В иммерсивные решения стандартизируют навыки бригад, повышая производительность через обучение «эффективным приемам». В Разделе С акцент смещен на киберфизическую интеграцию – синхронизацию человеческого труда с механизированными системами для увеличения пропускной способности линий.

– Управление рисками и инфраструктурой (мезоуровень) (Разделы Н, D): в транспортировке (Раздел Н) AR/VR минимизируют механические повреждения через обучение и визуализацию безопасных операций. В энергетике (Раздел D) технологии обеспечивают соблюдение технических регламентов при подключении инженерных сетей, где производительность труда определяется точностью, а не объемом. Вспомогательные функции (Раздел S): Ограниченная операционализация: AR/VR применяются фрагментарно для решения узких задач (консультации, адаптация персонала).

Отметить следует и то, что VR трансформирует бизнес-процессы на стратегическом уровне, перестраивая цепочки создания ценности, а AR доминирует на тактическом уровне, устраняя потери времени и ошибки через локализованную цифровизацию. AR-инструкции повышают индивидуальную производительность, но без интеграции с VR-цифровыми двойниками процессов это создает «эффект силоса» – локальные улучшения не масштабируются на уровень цепочки создания ценности.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

По результатам проведенного исследования получены следующие выводы и составлены следующие рекомендации:

1. Производительность труда выступает индикатором, отражающим рациональность задействования ресурсов, степень организации рабочих процессов и динамику внедрения инновационных разработок на предприятиях. Рост значений этого параметра прямо коррелирует со способностью компании выпускать больше единиц конкурентоспособной продукции за фиксированный период, оптимизируя операционные издержки. Данная оптимизация происходит за счет формирования и развития культуры производства, технологической активности организации, применения управленческих инноваций;

2. Производительность труда перестает быть исключительно экономическим индикатором, становясь интегральным показателем технологической, управленческой и социальной зрелости экономики. Повышение производительности труда в условиях цифровизации обеспечивается за счет применения более прогрессивных и эффективных технологий, а также за счет сокращения количества труда, вложенного в производство единицы продукции;

3. Технологическая трансформация экономики, оперирующая инструментами искусственного интеллекта, интернета вещей (IoT) и иммерсивных технологий (VR/AR), реконфигурирует онтологию труда, трансформируя его из ресурсозатратной функции в когнитивно-управленческий процесс. Данный процесс предполагает не только операционную оптимизацию, но и формирование гибридных компетенций, сочетающих цифровую грамотность с кросс-функциональными навыками;

4. Виртуальная (VR) и дополненная реальность (AR) становятся ядром трансформации промышленности, переопределяя онтологию производства, обучения и управления в цифровую эпоху. Уникальность данных технологий – в способности создавать симбиоз физического и

цифрового миров, где каждый процесс обретает новые измерения точности, безопасности и эффективности;

5. В условиях глобальной конкуренции и ускорения технологического прогресса управление производительностью труда приобретает особую значимость. Данный показатель отражает эффективность использования трудовых ресурсов и выступает критическим фактором устойчивого развития как отдельных предприятий, так и экономики в целом. Применение сквозных технологий служит новым драйвером трансформации производственных систем. Сквозные технологии не только сокращают издержки и оптимизируют временные затраты, но и меняют содержание труда, требуя гибридных навыков и усиления взаимодействия человека с машинами;

6. Иммерсивные технологии трансформируют операционный менеджмент в направлении «умного» производства, где данные и симуляции заменяют эмпирические решения. Это не только повышает эффективность, но и создает основу для устойчивой адаптации к рыночным изменениям, что критически важно в условиях VUCA-среды. Ключевая ценность – переход от управления ресурсами к управлению цифровыми потоками, где каждый элемент системы связан в реальном времени, а человеческий фактор усиливается, а не заменяется, технологиями. Виртуальная (VR), дополненная (AR) реальность – перестают быть просто инструментами оптимизации. Они превращаются в агентов глубинной трансформации, переопределяя взаимодействие человека с производственной средой, требования к компетенциям и даже понятие рабочего места. Особенно ярко это проявляется в их влиянии на производительность труда, где иммерсивные решения становятся катализатором прорывной эффективности. Иммерсивные технологии – это не эволюция, а революция в трудовых отношениях в промышленности. Они трансформируют производительность, переводя ее из категории «человеко-часов» и «выработки за 1 час отработанного времени» в «человеко-возможностей», где каждый работник и его трудовой потенциал усиливается цифровыми инструментами;

7. Иммерсивные технологии в производстве – не просто инструменты, а агенты трансформации трудовых отношений. Они меняют не просто инструменты, а саму логику управления. Бизнес-процессы становятся интерактивными, ориентированными на человека и способными к самооптимизации.

Операционализация виртуальной реальности (VR) в производстве структурируется по двум ключевым осям:

– Масштаб воздействия (тактический/стратегический): а) на тактическом уровне VR стандартизирует отдельные операции через 3D-конфигураторы и обучение, фиксируя параметры сырья и снижая вариативность; б) на стратегическом уровне цифровые двойники бизнес-процессов и производственных потоков становятся инструментом системного планирования, задавая эталонные параметры для всей цепочки создания ценности;

– Роль человеческого фактора: а) в статичных сценариях (виртуальные инспекции) VR минимизирует человеческую субъективность, переводя контроль в формат измеримых данных; б) в динамичных сценариях (удаленные эксперты, моделирование ЧС) технология трансформирует труд из переменной в управляемый параметр, проектируя оптимальные алгоритмы поведения.

AR, в свою очередь, выступает инструментом киберфизической интеграции, где цифровые слои синхронизируются с физическими процессами. Это переопределяет роль работника: из исполнителя – в оператора, управляющего гибридной (человек-машина) системой. Ключевая ценность AR – в переходе от дискретных улучшений к сквозной оптимизации цепочек создания ценности, где тактическая эффективность (снижение простоев) и стратегическая гибкость (адаптация к динамичным условиям) достигаются в единой цифровой среде;

8. Сквозные цифровые иммерсивные технологии в производстве – не просто инструменты, а агенты операционной эффективности, но их внедрение

сталкивается с системными барьерами: отсутствие методологических фреймворков, конфликт традиционных моделей научного менеджмента с гибкостью цифровых решений, а также технико-экономические ограничения, включая высокую стоимость оборудования и сопротивление организационной культуры. Исходя из идентифицированной проблематики, виртуальная и дополненная реальность нуждается в методологической и методологической проработке.

9. Разработанная методика учитывает совокупный теоретический и практический опыт, характеризует и описывает способы применения технологии, предлагает перечень необходимых шагов и действий для максимизации эффекта от внедрения иммерсивных технологий в бизнес-процессы. Предлагаемая автором шестиэтапная методика формирует новый подход к управлению инновационными проектами внедрения сквозных цифровых технологий. Ее ключевой элемент — интеграция стратегического целеполагания, операционной диагностики, проектного управления и процессного улучшения в единый цикл, что преодолевает фрагментарность, присущую изолированным пилотным запускам AR/VR-решений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 года № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297432/ (дата обращения: 17.01.2024).

2. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 год». Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_475991/ (дата обращения: 09.05.2024).

3. Паспорт национального проекта (программы) «Экономика данных и цифровая трансформация государства» (утвержденного протоколом заочного голосования членов президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам от 20 декабря 2024 г. № 12п). Режим доступа: <http://government.ru/rugovclassifier/923/about/> (дата обращения: 27.04.2025).

4. Паспорт национального проекта (программы) «Производительность труда и поддержка занятости» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 № 16). Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_319210/ (дата обращения: 17.01.2024).

5. Приказ Федеральной службы государственной статистики от 28 апреля 2018 г. N 274 «Об утверждении Методики расчета показателя «Индекс производительности труда» Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_297811/aca8d603f85ebc457493bf31c9205700a90d340a/ (дата обращения: 12.03.2024)

6. Национальные счета. Индекс производительности труда. Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (дата обращения: 12.03.2024)

7. Акаев А.А. Современный финансово-экономический кризис в свете теории инновационно-технологического развития экономики и управления инновационным процессом: В кн. Системный мониторинг: Глобальное и региональное развитие / Ред. Д. А. Халтурина, А. В. Коротаев. – М.: УРСС, 2009. – с. 141–162.

8. Акаев А.А., Садовничий В.А. Человеческий фактор как определяющий производительность труда в эпоху цифровой экономики // Проблемы прогнозирования. 2021. No 1. С. 45-58. <https://doi.org/10.1134/S1075700721010020>

9. Аналитическая записка «Производительность в промышленности: факторы роста» / Н. Карлова, Е. Пузанова, И. Богачева, Банк России. 2019. [Электронный ресурс]. – https://www.cbr.ru/Content/Document/File/90569/analytic_note_20191125_dip.pdf (дата обращения: 11.01.2025).

10. Аналитический вестник. Производительность труда в России и в мире. Влияние на конкурентоспособность экономики и уровень жизни (подготовлен по итогам заседания Научно-методического семинара Аналитического управления Аппарата Совета Федерации, 7 июня 2016) - 2017. – 29 (628). [Электронный ресурс]. URL:<http://www.council.gov.ru/media/files/CQNOp1HscHaTulPa5BYZesqLNqUSQeHw.pdf>.

11. Арdziнов В.Д., Чепаченко Н.В., Леонтьев А.А. Прорывные технологии: новые ориентиры развития экономики и общества. Экономика и управление. 2020;26(11):1227-1235. <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2020-11-1227-1235>

12. Балацкий Е.В., Екимова Н.А. Эффективность институционального развития России: альтернативная оценка // Terra Economics. 2015. Т. 13, № 4. С. 31–51. DOI: 10.18522/2073-6606-2015-4-31-51.
13. Белоусов, Ю. В. Цифровая экономика: понятие и тенденции развития / Ю. В. Белоусов // Вестник Института экономики Российской академии наук. – 2021. – № 1. – С. 26-43. – DOI 10.24412/2073-6487-2021-1-26-43. – EDN NRZDOA.
14. Бережливый жизненный цикл / Н. О. Остапенко, В. А. Лapidус, Д. И. Цвиркунов, Д. А. Кожехов // Методы менеджмента качества. – 2017. – Т. 10. – С. 10-15.
15. Бuzгалин А.В. Российская экономическая система: противоречия и потенциал развития // Вопросы политической экономии. 2023. № 3 (35). С. 59-68. ISSN 2412-9666
16. Бuzгалин А.В., Колганов А.И. Планирование в экономике XXI века: творчески используя наследие СССР (к 100-летию Госплана СССР). Доклад на международной научной конференции «Планирование в рыночной экономике: воспоминания о будущем (к 100-летию Госплана СССР)», 25-26 марта 2021 г. М., 2021. – 74 с. [электронный ресурс]
17. Бuzгалин А.В., Колганов А.И., Барашкова О.В. Классическая политическая экономия: Современное марксистское направление. Базовый уровень. Продвинутый уровень. Изд. стереотип. 2022. 560 с.
18. Бутковская, Г. В. Цифровая трансформация бизнеса: стратегия успеха / Г. В. Бутковская, Е. В. Сумарокова // Маркетинг МВА. Маркетинговое управление предприятием. – 2019. – Т. 10. – № 3. – С. 39-50.
19. Варшавский, А. Е. Основные проблемы реализации четвертой промышленной революции в России / А. Е. Варшавский // Производство, наука и образование России: технологические революции и социально-экономические трансформации: Сборник материалов V Международного конгресса (ПНО-V), Москва, 01 января - 31 2019 года / Под общей редакцией С.Д. Бодрунова. - Москва: Ассоциация "Некоммерческое партнерство по

содействию в проведении научных исследований "Институт нового индустриального развития им. С.Ю. Витте", 2019. - С. 95-105.

20. Вертакова Ю.В., Положенцева Ю.С., Масленникова В.В. Трансформация промышленности в условиях цифровизации экономики: тренды и особенности реализации. Экономика и управление. 2021;27(7):491-503. <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2021-7-491-503>

21. Внедрение AR в «Славнефть-Мегионнефтегаз» [Электронный ресурс] // ComNews. – URL: <https://www.comnews.ru/content/220332/2022-05-20/2022-w20/slavneft-megionneftegaz-obzavelsya-dopolnennoy-realnostyu> (дата обращения: 15.09.2024).

22. Внедрение AR-технологий в промышленности [Электронный ресурс] // CDO2Day. – URL: <https://cdo2day.ru/practice/rossijskaja-promyshlennost-prismatrivaetsja-k-novoj-realnosti/> (дата обращения: 15.09.2024).

23. Володина О.В. Особенности организации труда различных поколений сотрудников. Наука и искусство управления. 2024;(3):71-82. <https://doi.org/10.28995/2782-2222-2024-3-71-82>

24. Воскобойников И.Б. Постшоковый рост российской экономики: опыт кризисов 1998 и 2008-2009 гг. и взгляд в будущее / И. Б. Воскобойников, Э. Ф. Баранов, К. В. Бобылева [и др.] // Вопросы экономики. – 2021. – № 4. – С. 5-31. – DOI 10.32609/0042-8736-2021-4-5-31. – EDN APOWGY.

25. Галиуллин Х.Я., Ермаков Г.П., Симонова М.В. Понятие эффективности труда // Экономика труда. – 2017. – № 3. – с. 183–196. – doi: 10.18334/et.4.3.38263.

26. Гастев А. К. Трудовые установки / А. К. Гастев; ред. Ю. А. Гастева, Е. В. Петрова. – 3-е. – Москва : Книжный дом «Либроком», 2011. – 344 с.

27. Гринберг, Р. С. Технологические революции и социум: мировой тренд и российская специфика / Р. С. Гринберг // Производство, наука и образование России: технологические революции и социально - экономические трансформации : Сборник материалов V Международного

конгресса (ПНО-V), Москва, 01 января - 31 2019 года / Под общей редакцией С.Д. Бодрунова. - Москва: Ассоциация "Некоммерческое партнерство по содействию в проведении научных исследований "Институт нового индустриального развития им. С.Ю. Витте", 2019. - С. 24-34.

28. Даниленко, Л. Н. Мой современник С.Ю. Витте: связь времен / Л. Н. Даниленко // Экономическое возрождение России. – 2014. – № 4 (42). – С. 11–18.

29. Дюркгейм Э. О разделении общественного труда. Метод социологии. Пер. с фр./Э. Дюркгейм. – М.: Наука, 1991. – 576 с.

30. Егоров С.В., Орловец И.И. Эффективность применения виртуальной реальности для обучения персонала на примере ОАО «РЖД» // Научный журнал. – 2023. – № 35 (133). – URL: <https://scilead.ru/article/4950-effektivnost-primeneniya-virtualnoj-realnosti>

31. Екимова, Н. А. Факторы и резервы роста производительности труда в России: концепции и количественные оценки / Н. А. Екимова // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. – 2019. – Т. 18, № 6. – С. 944-966. – DOI 10.15826/vestnik.2019.18.6.046. – EDN SJDPJI.

32. Елисеева И.И. Образы будущего рынка труда и проблемы измерения производительности труда / Человек труда в цифровой экономике: новые реалии и социальные вызовы / М. В. Малаховская, Л. В. Кобзева, Н. В. Покровская [и др.]; Санкт-Петербургский государственный университет. – Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2021. – 284 с. – ISBN 978-5-288-06090-8. – EDN KCKRRB.

33. Ермаков Г.П., Котельникова Н.В. Проблемы расчета производительности труда на макроуровне // Экономика труда. – 2020. – Том 7. – № 9. – С. 775-794. – doi: 10.18334/et.7.9.110855.

34. Ерманский О. А. Задачи научной организации труда и ее положение / О. А. Ерманский // Вестник социалистической академии. – 1923. – № 3. – С. 173.

35. Ерманский, Осип Аркадьевич. Научная организация труда и производства // Проф. О. А. Ерманский. – Москва : [б. и.], 1922. – 20 с. : 18 см. – (Систематические программы лекций по отдельным отраслям знания и производства. С приложением указателей рекомендуемой литературы/ Центр. научно-техн. клуб профсоюзов).

36. Ерманский, Осип Аркадьевич. Теория и практика рационализации [Текст]. т. 1 [Текст] / 1 т.; 23 см.. – Москва ; Ленинград : Изд-во Нар. ком. тяжелой пром-сти, 1933, 1933. – 506 с. : ил..

37. Зайцев А. А. Межстрановой анализ отраслевой производительности труда в 1991-2008 годах. Институт экономики РАН. Москва. 2014. Retrieved from http://inecon.org/docs/Zaytsev_paper_20140424.pdf

38. Иваненко О.Б., Степанова А.О. Перспективы и направления применения иммерсивных технологий в управлении бизнес-процессами современной организации // Лидерство и менеджмент. – 2024. – Том 11. – № 1. – С. 317-332. – doi: 10.18334/lim.11.1.120346.

39. Иванова А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения. Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018;(3):88-107. <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-3-88-107>

40. Индикаторы инновационной деятельности: 2024 : статистический сборник / В. В. Власова, Л. М. Гохберг, Г. А. Грачева и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. – 260 с. – 250 экз. – ISBN 978-5-7598-3014-6 (в обл.).

41. Информационное общество. Данные Федеральной службы государственной статистики РФ [Электронный ресурс]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/infocommunity> (дата обращения 21.12.2024).

42. Исаев, Д. В. К вопросу об оценке уровня развития систем управления эффективностью / Д. В. Исаев // Бизнес-информатика. – 2014. – № 1(27). – С. 42-51. – EDN SHTOPB.

43. Исследование применения AR/VR в промышленности [Электронный ресурс] // Tadviser. –

URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Информационные_технологии_в_КамаЗ (дата обращения: 15.09.2024).

44. Источники роста производительности труда после шоков 1998 и 2008 годов в России в контексте перспектив восстановления экономики после кризиса COVID-19 [Текст] : докл. к XXI Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2020 г. / И. Б. Воскобойников, Э. Ф. Баранов, К. В. Бобылева и др. ; отв. ред. И. Б. Воскобойников ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. – 60 с. – ISBN 978-5-7598-2187-8 (в обл.). – ISBN 978-5-7598-2082-6 (e-book).

45. Календжян С.О. «О работе научного совета по комплексной проблеме «Оптимальное планирование и управление народным хозяйством» АН СССР (1980-1990-е годы)», Экономика и математические методы, №3, 2018.

46. Квартальный прогноз ВВП. Выпуск №60 Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук Режим доступа: <https://ecfor.ru/publication/kvartalnyj-prognoz-vvp-vypusk-60/> (дата обращения: 22.03.2024)

47. Кейс: «Лукойл» внедряет VR-технологии [Электронный ресурс] // Новости Волгограда. – 2023. – URL: <https://novostivolgograda.ru/news/2023-09-27/lukoyl-pogruzhaet-sotrudnikov-v-virtualnuyu-realnost-3052213> (дата обращения: 15.09.2024).

48. Кожухова Н.В. Анализ современного состояния производительности труда в России / Н. В. Кожухова, И. В. Богатырева, Е. П. Железникова // Экономика труда. – 2018. – Т. 5, № 3. – С. 683-698. – DOI 10.18334/et.5.3.39239. – EDN YMQPWX.

49. Кобзев В.В., Бабкин А.В., Скоробогатов А.С. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях новой реальности // *π-Economy*. 2022. Т. 15, № 5. С. 7–27. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15501>

50. Ковальчук Ю. А., Степнов И. М. Цифровая экономика: трансформация промышленных предприятий // Инновации в менеджменте. 2017. № 1 (11). С. 32-43.
51. Ковальчук Ю.А., Степнов И.М. Исследование неопределенности технологического будущего. Вестник МГИМО-Университета. 2019;12(6):214-224. <https://doi.org/10.24833/2071-8160-2019-6-69-214-224>
52. Колганов А. И. (2022). Эволюция содержания человеческой деятельности и изменение структуры экономики // Ноономика и ноообщество. Альманах трудов ИНИР им. С.Ю. Витте. Т. 1, № 1, С. 65-80. DOI: 10.37930/2782-618X-2022-1-1-65-80
53. Капелюшников Р. И., Либман А. М. Куда движется современная экономическая наука? / Институт экономики РАН. Серия "Научные доклады Института экономики РАН". 2018.
54. Кондратьева Е.В. Факторы повышения уровня производительности труда в современной экономике России // Экономический анализ: теория и практика. 2015. № 32. С. 27–38.
55. Ксенофонт. Домострой / Ксенофонт. – М.: Наука, 1979. – 379 с.
56. Кулик В.И., Кулик И.В. Труд и капитал: развитие производительной силы и повышение производительности труда в эпоху современного общества // Евразийский союз ученых. 2020. № 11–5 (80). С. 37–65.
57. Л.М. Суетина, Центральный институт труда: А.К. Гастев – основоположник научной организации труда. Нормирование и оплата труда на автомобильном транспорте. 2019;7.
58. Лайкер Д. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира: пер. с англ. Т. Гутман / Д. Лайкер. – Москва : Издат. группа «Точка», 2017. – 400 с.
59. Лapidус В. А. Многоликая ценность качества / В. А. Лapidус, М. Е. Серов, Г. А. Тюленева // Методы менеджмента качества. – 2017. – Т. 11. – С. 12-19.

60. Лутченко В.Г., Хорев А.И., Хорев И.А., Григорьева В.В. Анализ факторов, влияющих на производительность труда на предприятии // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий – 2019. – № 81 – С.368-371.
61. Лю, Я. Развитие и тенденции цифровизации управления бизнес-процессами / Я. Лю // Лидерство и менеджмент. – 2023. – Т. 10, № 3. – С. 915-928. – DOI 10.18334/lm.10.3.118528
62. Максимцев, И. А. Цифровая трансформация на основе современного международного трансфера технологий / И. А. Максимцев, К. Б. Костин, О. А. Онуфриева. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2023. – 159 с.
63. Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения. Том 3. М.: Государственное издательство политической литературы, 1955. 629 с.
64. Мацкуляк И.Д. Производительность труда, ее основные показатели, формы проявления и пути повышения. Вестник университета. 2024;(9):90-98. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2024-9-90-98>
65. Методические основы количественной оценки уровня организации труда, производства и управления на предприятии. – М.: Изд-во НИИ труда, 1998.– 85 с.
66. Мехдиев, Ш. З. Инновационные подходы к оценке качества и эффективности управления персоналом промышленного предприятия / Ш. З. Мехдиев // Современные проблемы и вызовы региональной экономики : сборник научных статей по материалам всероссийской научно-практической конференции, Королев, 25 января 2016 года. – Королев: Общество с ограниченной ответственностью "Научный консультант", 2016. – С. 142-147. – EDN VLFFSJ.
67. Минат В.Н. Производительность труда и повышение эффективности национальных экономических систем: межстрановое сопоставление //Экономическая наука современной России. – 2023. – №. 3. – С. 129-141.

68. Мишин П.Н. Производительность труда в российских компаниях: факторы роста // Путеводитель предпринимателя. – 2023. – Т. 16. – №. 1. – С. 68-73.

69. НИО.2 и ноономика как ключевые ориентиры социально экономической трансформации: предпосылки формирования и инструментарий развития / Открытая лекция / С.Д. Бодрунов. – СПб.: ИНИР им. С.Ю. Витте, 2019. – 76 с.

70. Новокупова И.Н., Мехдиев Ш.З. Оценка качества и эффективности управления предприятием и персоналом // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/35EVN116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/35EVN116

71. Норникель: VR для мониторинга оборудования [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nornickel.digital/pulse/virtualnaya_realnost_pomozhet_sledit_za_oborudovaniem (дата обращения: 15.09.2024).

72. Оно Т. Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства: пер. с англ. А. Грязнова; А. Тяглова / Т. Оно. – Москва : Институт комплексных стратегических исследований, 2005. – 192 с.

73. Петти, Вильям. Трактат о налогах и сборах // Шедевры мировой экономической мысли. - Т.2. - Петрозаводск: «Петроком», 1993.с 69

74. Платон. Государство. Сочинения. Т.3 / Платон. – М.: Мысль, 1994. – 654 с.

75. Применение AR на ТАНЕКО [Электронный ресурс] // iadevon.ru. – URL: https://iadevon.ru/news/Technologies/blagodarya_dopolnennoy_realnosti_na_taneko_obespechili_nadezhnost_ibp-13316/ (дата обращения: 15.09.2024).

76. Применение AR/VR на промышленных предприятиях [Электронный ресурс]. – https://media.rbcdn.ru/media/reports/1_HZaFdOM.pdf (дата обращения: 13.02.2025).

77. Производительность труда в России и в мире. Влияние на конкурентоспособность экономики и уровень жизни. Аналитический вестник Совета Федерации Федерального Собрания РФ. [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/media/files/CQNOp1HscHaTulPa5BYZesqLNqUSQeHw.pdf>

78. Производительность труда как ключевой фактор развития России: правовые и региональные аспекты. Научно-экспертный Совет при Председателе Совета Федерации Федерального Собрания РФ. [Электронный ресурс]. URL: http://council.gov.ru/activity/analytics/analytical_bulletins/48904/

79. Производительность труда и российский человеческий капитал: парадоксы взаимосвязи? [Текст] : докл. к XXII Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 13–30 апр. 2021 г. / В. Е. Гимпельсон (рук. авт. кол.), Д. А. Авдеева, Н. В. Акиндинова и др. ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. – 61 с. – ISBN 978-5-7598-2509-8 (в обл.). – ISBN 978-5-7598-2269-1 (e-book).

80. Рахмеева И.И., Кузьмина Ю.В. Вклад российской экономической мысли в развитие подходов к формированию экономической политики // KANT. – 2024. – №2(51). – С. 121-129. EDN: GLBPUG. DOI: 10.24923/2222-243X.2024-51.20

81. Россия 2035: к новому качеству национальной экономики. Научный доклад / Под ред. члена-корреспондента РАН А.А. Широга. – М.: Артик Принт, 2024. – 264 с. – (Научный доклад ИНП РАН).

82. С.Д. Бодрунов. Реиндустриализация российской экономики и вопросы импортозамещения / Публичная лекция для магистров и аспирантов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. СПбГУАП, 27 апреля 2015 г. / Научные доклады Института нового индустриального развития (ИНИР) им. С.Ю. Витте / СПб.: ИНИР, 2015. – 83 с.

83. Сапрыкина, А. О. Модель принятия технологии Дэвиса как средство оценивания субъективной эффективности технологии электронного

портфолио / А. О. Сапрыкина. – Текст : непосредственный // Теория и практика образования в современном мире : материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). – Санкт-Петербург : Свое издательство, 2015. – С. 108-110

84. Свистунов В. М., Лобачев В. В. Цифровизация экономики: современные тенденции и особенности // Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. 2022. №. 5. С. 5-10. DOI: <https://doi.org/10.12737/2305-7807-2022-11-5-5-10>

85. Сергеев Л. И. Некоторые аспекты цифровой трансформации в развитии экономической теории воспроизводства // Вестник ТГЭУ. – 2020. – № 4 (96).

86. Симарова, И. С. Цифровые компетенции: понятие, виды, оценка и развитие / И. С. Симарова, Ю. В. Алексеевичева, Д. В. Жигин // Вопросы инновационной экономики. – 2022. – Т. 12, № 2. – С. 935-948. – DOI 10.18334/vines.12.2.114823. – EDN RGNVUE.

87. Симачев Ю. В., Федюнина А. А., Кузык М. Г. Новые контуры промышленной политики [Текст] : докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2022 г. / Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики», 2022. – 73 с. – ISBN 978-5-7598-2661-3 (в обл.). – ISBN 978-5-7598 2473-2 (e-book).

88. Смирнова Е.А., Постнова М.В. Интегральная оценка производительности труда // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 1 (57). С. 123-129.

89. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов. М.: Эксмо, 2016. 1056 с.

90. Соловьев, Е. Н. Цифровая трансформация как модель управления бизнеса / Е.Н. Соловьев // Вестник Национального Института Бизнеса. – 2019. – № 37. – С. 275-279

91. Соснило А.И., Устюжанина М.Д. Технологии виртуальной и дополненной реальности как факторы государственной экономической

политики и роста конкурентоспособности бизнеса // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки, 2019. – № 2. – С. 204–217. – <https://doi.org/10.15593/2224-9354/2019.2.15>

92. Социальный бюллетень. Производительность труда в Российской Федерации // Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. – июнь 2017. - №9. - 41 с. [Электронный ресурс]. URL:<http://ac.gov.ru/files/publication/a/13612.pdf>.

93. Сошнева, Е. Б. (2006). М.М. Ковалевский о закономерностях общественно-экономического развития России. Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика, (1), 103–109

94. Тулина Ю.Г., Шевцова Н.В. Эффективность хозяйственной деятельности предприятия: сущность, факторы, принципы оценки // Менеджмент социальных и экономических систем. – 2019. – № 4(16). – с. 5–10.

95. Уколов В.Ф., Афанасьев В.Я., Черкасов В.В. Ключевые эффекты цифровизации и возможные потери. Вестник университета. 2019;(8):55-58. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-8-55-58>

96. Факторы роста производительности труда на предприятиях несырьевых секторов российской экономики [Текст] : докл. к XXI Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2020 г. / Ю. В. Симачев (рук. авт. кол.), М. Г. Кузык, А. А. Федюнина и др. ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. – 60 с. – ISBN 978-5-7598-2175-5 (в обл.). – ISBN 978-5-7598-2072-7 (e-book).

97. Цифровая трансформация: ожидания и реальность: докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 2022 г. [Текст] / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишневский, М. А. Гершман, Л. М. Гохберг и др.; рук. авт. кол. П. Б. Рудник; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». –

М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. – 221 с. – ISBN 978-5-7598-2658-3 (в обл.). – ISBN 978-5-7598-2468-8 (e-book).

98. Цифровая трансформация: эффекты и риски в новых условиях / Рук. авт. колл. П. Б. Рудник, Т. С. Зинина; под ред. И. Р. Агамирзяна, Л. М. Гохберга, Т. С. Зининой, П. Б. Рудника; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. – 156 с. – 150 экз. – ISBN 978-5-7598-3009-2 (в обл.).

99. Цифровая трансформация: эффекты и риски в новых условиях / Рук. авт. колл. П. Б. Рудник, Т. С. Зинина; под ред. И. Р. Агамирзяна, Л. М. Гохберга, Т. С. Зининой, П. Б. Рудника; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М. : ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. – 156 с. – 150 экз. – ISBN 978-5-7598-3009-2 (в обл.).

100. Цифровая экономика: 2023: краткий статистический сборник / Г. И. Абдрахманова, С. А. Васильковский, К. О. Вишневский и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.. НИУ ВШЭ, 2023.

101. Цифровая экономика: тренды и перспективы трансформации бизнеса. Материалы VIII Межфакультетской научно-практической конференции молодых ученых: Москва, МГУ имени М. В. Ломоносова, экономический факультет; 22 декабря 2021 г.: Доклады и выступления / Под научн. ред. д.э.н., проф. Л. В. Лапидус. – М.: Экономический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, 2024. – 88 с.

102. Цифровой двойник Роснефти [Электронный ресурс] // LikeVR. – URL: <https://likevr.ru/projects/rosneft> (дата обращения: 15.09.2024).

103. Цифровые решения ТМК [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tmk-group.ru/esgpresentations/download/DXGy6QJvjm5RdmpZMGVOwUUnrzZYFRQV3aFTlcClnYcSkKmDV3cZFeoIw0AY> (дата обращения: 15.09.2024).

104. Черкасов В.В. Цифровизация: взаимодействие реального и виртуального секторов экономики [Текст]: монография / В.Ф. Уколов, В.В. Черкасов. – Москва: ИНФРА-М, 2019. – 203 с. – (Научная мысль)

105. Черкасов В.В. Ключевые эффекты цифровизации и возможные потери [Текст] / В.Ф. Уколов, В.Я. Афанасьев, В.В. Черкасов // Вестник Университета (Государственный университет управления). - 2019. - №8. - С. 55-58
106. Черкасов В.В. Нормативно-правовая система адаптации реального сектора экономики к цифровизации: оценка развития с учетом мирового опыта [Текст] / В.Ф. Уколов, А.Е. Завьялов, В.В. Черкасов // Вестник МИРБИС. - 2020. - №4 (24). - С. 34-41
107. Черкасов В.В. Адаптация к цифровизации современной фирмы в условиях изменяющейся среды [Текст] / В.В. Черкасов, Н.В. Черкасов // Вестник МИРБИС. - 2023. - №2 (34). - С. 124-129
108. Шмидт Н.И. Востребованность компетенций работников в условиях цифровизации услуг. Экономика и управление. 2024;30(10):1290-1298. <https://doi.org/10.35854/1998-1627-2024-10-1290-1298>
109. VR CORP и сибирское электрооборудование [Электронный ресурс] // Голографика. – URL: <https://holo-tech.ru/projects/vr-corp-sibir> (дата обращения: 15.09.2024).
110. Abidi, M. H., Al-Ahmari, A., Ahmad, A., Ameen, W., & Alkhalefah, H. (2019). Assessment of virtual reality-based manufacturing assembly training system. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 105(9), 3743–3759. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03801-3> (АНГЛ. ЯЗ.).
111. Airbus Digital Transformation [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.airbus.com/en/innovation/digital-transformation> (дата обращения: 15.09.2024).
112. Akbari, M., Ha, N. and Kok, S. (2022), A systematic review of AR/VR in operations and supply chain management: maturity, current trends and future directions, Journal of Global Operations and Strategic Sourcing, Vol. 15 No. 4, pp. 534-565. <https://doi.org/10.1108/JGOSS-09-2021-0078>
113. Alekseeva, N., Babkin A., Yung A., Krechko S., Barabaner H. (2020). Digital Transformation Impact on the Intellectual Capital of an Innovatively Active

Industrial Cluster / N.Alekseeva, A. Babkin, A. Yung, S. Krechko, H. Barabaner. // In Proceedings of the International Scientific Conference-Digital Transformation on Manufacturing, Infrastructure and Service. – 2020. – P.1-7.

114. Ark B., Vries K., Erumban A. (2020), How to not miss a productivity revival once again?, NIESR Discussion Paper No. 518. Based on Productivity and Innovation Competencies in the Midst of the Digital Transformation Age: A EU-US Comparison, Discussion Paper 119, DG ECFIN, European Commission, 2019.

115. Aschenbrenner, D., Leutert, F., Çençen, A., Verlinden, J., Schilling, K., Latoschik, M., & Lukosch, S. (2019). Comparing human factors for augmented reality supported single-user and collaborative repair operations of industrial robots. *Frontiers in Robotics and AI*, 6, 6. <https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00037>

116. Augmented Reality in Elevator Servicing [Электронный ресурс] // Microsoft HoloLens Case Study. – URL: <https://www.microsoft.com/hololens> (дата обращения: 15.09.2024).

117. Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), 355–385. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

118. Benedikt G. Mark, Erwin Rauch, Dominik T. Matt, Systematic selection methodology for worker assistance systems in manufacturing, *Computers & Industrial Engineering*, Volume 166, 2022, 107982, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.107982>.

119. Bernuy C, Chumbe S, Garcia C (2021) Virtual reality (VR) in superior education distance learning: a systematic literature review. *Int J Inform Vis* 5:264. <https://doi.org/10.30630/JOIV.5.3.632>

120. Boeing: AR for Aircraft Design [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.boeing.com/features/2021/08/innovation-hololens-ar-08-21.page> (дата обращения: 15.09.2024).

121. Carnerud D (2018) 25 years of quality management research—outlines and trends. *IJQRM* 35:208–231. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-01-2017-0013>

122. Dey A, Billinghamurst M, Lindeman RW, Swan JE (2018) A systematic review of 10 years of augmented reality usability studies: 2005 to 2014. *Front Robot AI* 5:37. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00037>
123. Dhanalakshmi, R., Mai, C.D., Latha, B., Vijayaraghavan, N. (2021). AR and VR in Manufacturing. In: Palanikumar, K., Natarajan, E., Sengottuvelu, R., Davim, J.P. (eds) *Futuristic Trends in Intelligent Manufacturing. Materials Forming, Machining and Tribology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70009-6_11
124. Egbengwu, V.; Garn, W.; Turner, C.J. *Metaverse for Manufacturing: Leveraging Extended Reality Technology for Human-Centric Production Systems*. *Sustainability* 2025, 17, 280. <https://doi.org/10.3390/su17010280>
125. Enel's Innovation Strategy [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.enel.com> (дата обращения: 15.09.2024).
126. Eric Krokos, Catherine Plaisant, Amitabh Varshney. Virtual memory palaces: immersion aids recall. *Virtual Reality*, 2018 – <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0346-3> (АНГЛ. ЯЗ.).
127. Fast-Berglund, Å., Gong, L., & Li, D. (2018). Testing and validating extended reality (xR) technologies in manufacturing. *Procedia Manufacturing*, 25, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.06.054>
128. Fischer, C., Rupprecht, P., & Schlund, S. (2023). Different approaches of conducting ergonomic assessment utilizing digital human models and motion захватывающих технологий (2023) Integrating People and Intelligent Systems. <https://doi.org/10.54941/ahfe1002854>
129. Ford and Bosch VR Training [Электронный ресурс]. – URL: <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2020/02/14/ford-bosch-virtual-reality-technician-training-mustang-mach-e.html> (дата обращения: 15.09.2024).
130. Frey, C. and Osborne, M. (2017) The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerization? *Technological Forecasting & Social Change*, 114, 254-280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>

131. Generix Group: AR for Warehouses [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.generixgroup.com> (дата обращения: 15.09.2024).
132. Global Productivity: Trends, Drivers, and Policies. Editor Alistair. Dieppe International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. 2021. 463 с.
133. Halawi, A., & Haydar, N. (2013). Effects of training on employee performance. In: *International Humanities Studies* 5 (4), 137–147, ISSN 2222–2839.
134. Harnessing the power of AI and emerging technologies Background paper for the CDEP Ministerial meeting. Organisation for Economic Co-operation and Development. [Электронный ресурс]. URL: [https://one.oecd.org/document/DSTI/CDEP\(2022\)14/FINAL/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DSTI/CDEP(2022)14/FINAL/en/pdf). (дата обращения: 03.12.2023).
135. Heineken Russia: Smart Glasses Implementation [Электронный ресурс] // Вестник цифровой трансформации. – URL: <https://www.cio.ru> (дата обращения: 15.09.2024).
136. Helin, K., Kuula, T., Vizzi, C., Karjalainen, J., & Vovk, A. (2018). User experience of augmented reality system for astronaut’s manual work support. *Front Robot AI*, 5, 106. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00106>
137. Haulíková, Nicol. (2022). Quality Adjusted Labour Input. 152-165. 10.53465/EDAMBA.2021.9788022549301.152-165.
138. Ho, P. T., Albajez, J. A., Santolaria, J., & Yagüe-Fabra, J. A. (2022). Study of augmented reality based manufacturing for futher integration of quality control 4.0: A systematic literature review. *Applied Sciences*, 12(4), 1961. <https://doi.org/10.3390/app12041961>
139. Hoedt, S., Claeys, A., An Landeghem, H., & Cottyn, J. (2016). Evaluation framework for Virtual training within mixed-model manual assembly. *IFAC-Papersonline*, 49(12), 261–266. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.61>
140. Holly, F., Zigart, T., Maurer, M., Wolfartsberger, J., Brunnhofer, M., Sorko, S. R., Moser, T., & Schlager, A. (2022). Gaining impact with mixed reality in industry – a sustainable approach. 2022 8th International Conference on

Computer Technology Applications, 128–134. <https://doi.org/10.1145/3543712.3543729>

141. Immersive Technologies in Business Operations. ATG europe. – 2022 г. – 11 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atg-europe.com/wp-content/uploads/Immersive-Technologies-in-Business-Operations-1.pdf> (дата обращения: 09.12.2023).

142. Investing in productivity growth McKinsey Global Institute Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/mgi/our-research/investing-in-productivity-growth> (дата обращения: 25.03.2024)

143. Wurishe I.Y. Management Systems Theory, A Practical Approach // GSJ. 2021. Vol. 9, No 5. URL: (дата обращения: 08.04.2025).

144. John Deere AR Solutions [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.deere.com> (дата обращения: 15.09.2024).

145. Journal of Manufacturing Systems, Volume 65, 2022, Pages 260-278, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.016>.

146. Karcher, A., Arnold, D. & Kuhlenkötter, B. Development of a Guideline Under Didactical Aspects for the Use of Immersive Virtual Learning Environments. J Form Des Learn 7, 98–105 (2023). <https://doi.org/10.1007/s41686-023-00085-5>

147. Karcher, A., Arnold, D. & Kuhlenkötter, B. Quality methods in virtual and augmented reality with a focus on education: a systematic literature review. Manag Rev Q (2024). <https://doi.org/10.1007/s11301-023-00403-y>

148. Karcher, A., Arnold, D., & Kuhlenkötter, B. (2023). Quality Methods in Virtual and Augmented Reality: A Systematic Literature Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2285435/v1>

149. Karcher, A., Arnold, D., Prinz, C., & Kuhlenkötter, B. (2022). Procedure for the Implementation of VR/AR Learning Scenarios for Method Training - Presentation of the Assisted Reality Implementation Model (ARIM). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2164861/v11>

150. Kim, M., Choi, S. H., Park, K.-B., & Lee, J. Y. (2019). User interactions for augmented reality smart glasses: A comparative evaluation of visual contexts and interaction gestures. *Applied Sciences*, 9 (15), 3171. <https://doi.org/10.3390/app9153171>

151. Lockheed Martin Annual Report [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://www.lockheedmartin.com/investors/annual-reports> (дата обращения: 15.09.2024).

152. M Eswaran, M V A Raju Bahubalendruni, Challenges and opportunities on AR/VR technologies for manufacturing systems in the context of industry 4.0: A state of the art review,

153. Marino, E., Barbieri, L., Colacino, B., Fleri, A. K., & Bruno, F. (2021). An augmented reality inspection tool to support workers in industry 4.0 environments. *Computers in Industry*, 127, 103412. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103412>

154. Mark, B., Rauch, E., & Matt, D. T. (2022). Systematic selection methodology for worker assistance systems in manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 166, 107982. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.107982>

155. McLaren Innovation in VR [Электронный ресурс]. – URL: <https://cars.mclaren.com/en/about/Innovation> (дата обращения: 15.09.2024).

156. Metaverse: VR- und AR-Inhalte im fahrenden Auto stabil darstellen [Электронный ресурс] // Официальный сайт Automobil Industrie. – 2023. – URL: <https://www.automobil-industrie.vogel.de/bmw-meta-reality-labs-vr-ar-bewegtes-auto-stabil-darstellen-a-47fd38fa523e24fdcb9f0fa098f828eb/> (дата обращения: 08.04.2025).

157. Methodological document on labour productivity indicators for the EU-28: quality adjusted labour input [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: https://ec.europa.eu/eurostat/documents/7894008/8915486/Methodology_QALI.pdf (дата обращения: 14.12.2024).

158. Milgram Paul, Fumio Kishino. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Trans. Information Systems. vol. E77-D, no. 12. 1321-1329. (АНГЛ. ЯЗ.).

159. Nee, Andrew. (2013). Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing. IFAC Proceedings Volumes. 46. 15-26. 10.3182/20130619-3-RU-3018.00637.

160. Netland, T. & Hines, P. (2021). Teaching in virtual reality: experiences from a lean masterclass. In: Daryl John Powell, Erlend Alfnes, Marte D. Q. Holmemo und Eivind Reke (Eds.): Learning in the Digital Era, Cham: Springer International Publishing, 155–162, ISBN: 978–3–030–92933–6.

161. Nicole Coviello, Erkkko Autio, Satish Nambisan, Holger Patzelt, Llewellyn D.W. Thomas, Organizational scaling, scalability, and scale-up: Definitional harmonization and a research agenda, Journal of Business Venturing, Volume 39, Issue 5, 2024, 106419, ISSN 0883-9026, <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2024.106419>.

162. Niedermayr, D., & Wolfartsberger, J. (2021). Design and evaluation of a virtual training environment for industrial assembly tasks. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3862367>

163. OECD Harnessing the power of AI and emerging technologies: Background paper for the CDEP Ministerial meeting // OECD Digital Economy Papers. – 2022. – № 340. – Paris: OECD Publishing. – DOI: 10.1787/f94df8ec-en

164. OECD OECD Compendium of Productivity Indicators 2024. – Paris: OECD Publishing, 2024. – DOI: 10.1787/b96cd88a-en10.

165. OECD Level of GDP per capita and productivity: Labour productivity levels [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stats.oecd.org> (дата обращения: 02.05.2024).

166. Ong, S K & Nee, Andrew. (2004). Virtual and Augmented Reality Applications in Manufacturing. 10.1007/978-1-4471-3873-0.

167. PG&E VR Training Program [Электронный ресурс] // Fortune. – 2016. – URL: <https://fortune.com/2016/09/28/pge-vr-virtual-reality/> (дата обращения: 15.09.2024).

168. PricewaterhouseCoopers. How virtual and augmented reality technologies are reimagining America's factory floors Режим доступа: <https://www.pwc.com/us/en/industrial-products/publications/assets/augmented-virtual-reality-next-manufacturing-pwc.pdf> (дата обращения: 25.03.2024).

169. Rupprecht, P., Kueffner-McCauley, H., Trimmel, M., Hornacek, M., & Schlund, S. (2022). Advanced adaptive spatial augmented reality utilizing dynamic in-situ projection in industrial site assembly. *Procedia CIRP*, 107, 937–942. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.088>

170. Sakr, A., Abdullah, T. Virtual, augmented reality and learning analytics impact on learners, and educators: A systematic review. *Educ Inf Technol* 29, 19913–19962 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12602-5>

171. SDG Labour Market Indicators (ILOSDG). Режим доступа: https://rshiny.ilo.org/dataexplorer37/?lang=en&id=SDG_0821_NOC_RT_A (дата обращения 17.04.2024)

172. Seeing is believing: How virtual reality and augmented reality are transforming business and the economy. PricewaterhouseCoopers (PwC). – 2019 г. – 20 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/technology/publications/assets/how-virtual-reality-and-augmented-reality.pdf>. (дата обращения: 03.12.2023).

173. Siemens Digital Enterprise Services [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.siemens-energy.com> (дата обращения: 15.09.2024).

174. Stuchlikova, L., Kosa, A., Benko, P., & Juhasz, P. (2017). Virtual reality vs. reality in engineering education. In: 2017 15th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA). Stary Smokovec, IEEE, 1–6.

175. Szymon Machała, Norbert Chamier-Gliszczyński, Tomasz Królikowski, Application of AR/VR Technology in Industry 4.0., *Procedia*

Computer Science, Volume 207, 2022, Pages 2990-2998, ISSN 1877-0509,
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.357>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050922012467>)

176. Tanja Zigart, Gerhard Kormann-Hainzl, Helena Lovasz-Bukvova, Marvin Hölzl, Thomas Moser & Sebastian Schlund (2023) From lab to industry: lessons learned from the evaluation of augmented and virtual reality use cases in the Austrian manufacturing industry, *Production & Manufacturing Research*, 11:1, 2286345, DOI: 10.1080/21693277.2023.2286345

177. Thyssenkrupp Marine Systems: AR in Submarine Construction [Электронный ресурс] // Hololight. – URL: <https://hololight.io/case-studies/thyssenkrupp> (дата обращения: 15.09.2024).

178. Transform workspace experiences with immersive technologies. Capgemini. – 14 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://prod.ucwe.capgemini.com/wp-content/uploads/2023/10/Immersive-Workforce.pdf>. (дата обращения: 09.12.2023)

179. VECTOR SUITE: 3D Design for VR [Электронный ресурс]. – URL: <https://vector-suite.com> (дата обращения: 15.09.2024).

180. Volkswagen VR Workflows [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/development-using-vr-glasses-how-volkswagen-uses-virtual-workflows-15786> (дата обращения: 15.09.2024).

181. Voskoboynikov, I.B. Sources of productivity growth in Eastern Europe and Russia before the global financial crisis. *J Prod Anal* 59, 225–241 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11123-023-00662-7> (Дата обращения: 18.01.2025).

182. Wärtsilä Maritime Training [Электронный ресурс] // MTM Maritime Newspaper. – 2023. – Vol. 9. – URL: <https://themtmagency.com/upload/media/The-MTM-Agency-Maritime-Newspaper.pdf> (дата обращения: 15.09.2024).

183. Welsh Government VR Training [Электронный ресурс] // BBC News. – URL: <https://www.bbc.com/news/uk-wales-40175120> (дата обращения: 15.09.2024).

184. Wenk, N., Penalver-Andres, J., Buetler, K. A., Nef, T., Müri, R. M., & Marchal-Crespo, L. (2023). Effect of immersive visualization technologies on cognitive load, motivation, usability, and embodiment. *Virtual Reality*, 27(1), 307–331. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00565-8>
185. Zhang, R., Nordman, A., Walker, J., and Kuhl, S. A. (2012). Minification affects verbal- and action-based distance judgments differently in head-mounted displays. *ACM Trans. Appl. Percept.* 9:14. doi: 10.1145/2325722.2325727
186. Zhou, Y., Ji, S., Xu, T., & Wang, Z. (2018). Promoting knowledge construction: A model for using virtual reality interaction to enhance learning. *Procedia Computer Science*, 130, 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.035>
187. Zigart, T., & Schlund, S. (2022). Ready for industrial use? A user study of spatial augmented reality in industrial assembly. 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct) , 60–65. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-Adjunct57072.2022.0002>
188. «Gartner». Top Strategic Technology Trends for 2022 [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: <https://www.gartner.com/en/documents/4006913> (дата обращения: 08.04.2025).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Опыт промышленных предприятий в использовании технологий дополненной и виртуальной реальности

Предприятие, индустрия	Способ применения	Достигнутые результаты
Опыт отечественных компаний в области применения технологий виртуальной и дополненной реальности в бизнес-процессах		
Роснефть, нефтедобыча [102]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Цифровой двойник в виртуальной реальности потока нефтегазовой смеси в трубопроводной системе «РН-СИМТЕП»; 2. Симулятор гидроразрыва пласта в виртуальной реальности «РН-ГРИД»; 3. Цифровой двойник операции по переключению оборудования трансформаторной подстанции. 	Виртуальные двойники применяются для моделирования производственных ситуаций и обучения сотрудников. в частности, данные решения позволяют снизить количество ошибок, повысить качество выполняемых работ и сократить операционные затраты на обучение персонала и повысить производительность.
Газпромнефть, нефтедобыча [22]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Приложение дополненной реальности для выполнения проектно-изыскательных и строительно-монтажных работ в цикле строительства объектов нефтегазовой индустрии. Строительный и инспекционный контроль. 2. Обучение персонала техническому обслуживанию и ремонту (ТоИР) оборудования и приборов посредством тренингов в виртуальной реальности, обучение работы на нефтеналивной эстакаде 3. Цифровые инструкции в дополненной реальности для персонала по порядку выполнения работ 4. Визуальный контроль посредством очков дополненной реальности газоизмерительных головок, автоматизация учета и проверки датчика, промышленная безопасность. 5. Инспекционный контроль производственной площадки и выполняемых операций через очки дополненной реальности. На очки выводятся производственные задания, комментарии руководства. В очки интегрирован микрофон для голосового ввода показаний приборов в электронную форму. 	Дополненная реальность до 80% повышает скорость приемочных работ. Сокращение затрат на логистику и логистику шеф-монтажных работ В планах компании – перевод 2/3 производственного оборудования на техническое обслуживание при помощи AR-сервисов.

<p>Башнефть, нефтедобыча</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Виртуальные тренажеры (учебный комплекс) на базе дополненной реальности. 2. Учебный комплекс позволяет контролировать и анализировать действия обучаемого, собирать статистику по выполнению заданий в режиме реального времени и проводить индивидуальную корректировку обучающих программ на основе статистики наиболее часто совершаемых ошибок. По результатам обработки частоты допускаемых ошибок корректируются рабочие инструкции 	<p>Демонстрация принципов работы сложных агрегатов, узлов и процессов с помощью виртуального моделирования производственных условий и сценариев, а также полная автоматизация обучающего процесса. Такой формат обучения способствует получению практического опыта, повышает интерактивность обучения и снижает вероятность ошибок на реальном производстве [59].</p>
<p>Лукойл, нефтедобыча [47]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технология «Мобильный обходчик» на базе очков виртуальной и дополненной реальности. Данное решение позволяет дистанционно передавать информацию о состоянии оборудования, фиксировать состояние оборудования, проводить видеорегистрацию выполненных работ с оборудованием; 2. Виртуальные тренажеры для персонала по обучению пуска печи или насоса, обхода оборудования, выполнения работ на высоте и т. д. 3. ЛУКОЙЛ использует VR для 3D-визуализации и анализа данных в добыче и геологоразведке. Метод помогает сотрудникам из разных департаментов быстро усвоить большой объем информации о месторождении, проанализировать ее и принять оптимальное решение, снизив при этом вероятность ошибки. 	<p>Предприятие сократило расходы на обучение и проведение тренингов для персонала в виртуальной реальности. Обучено более 13000 чел. различным программам общего назначения, производственного профиля, управленческих должностей и т.д.</p>
<p>Татнефть, нефтедобыча [75]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. На НПЗ «ТАНЕКО» (Нижнекамск) внедрили систему дополненной реальности, позволяющую предотвратить простои и аварии источников бесперебойного питания (решение для автоматизации бизнес-процессов сервисного обслуживания на основе дополненной реальности). Технология была внедрена для информационного сопровождения и обучения инженеров автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и автоматизации процессов обслуживания критически важного оборудования. 2. Создание 3D моделей промышленного оборудования для анализа действий персонала и оптимизации операций при работе с оборудованием, анализ эргономики рабочего места 	<p>Создание базы знаний для помощи техническому персоналу, ТОиР, регистрации дефектов и аварий, а также анализа критичности последствий отказов на цифровой технологической модели.</p>

Славнефть-Мегионнефтегаз [21]	Информационная система контроля состояния оборудования с использованием очков дополненной реальности.	Снижение временных затрат, повышение качества обслуживания оборудования
Сибур, химическая промышленность	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обучение на виртуальных тренажерах СИБУРИНТЕХ 2. Дистанционное управление роботом в процессе проверки покрытия установки реактора и осуществления ремонтных работ 3. Модель производственного комплекса в Тобольском нефтехимическом кластере «Сибура», имитация производственного потока, детализация всех процессов 	Реализован принцип цифрового двойника для обучения новых сотрудников и ознакомления с производственным комплексом и процессами. Сокращение длительности обучения до недели, при базовой длительности на старте проекта более 14 дней. Сокращение простоя кранов на 25% и экономия 3 млн руб./год на оборудовании.
Норильский никель, горно-металлургическая отрасль [71]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визуализация производственного потока очистки и обработки серной кислоты (модель производственной линии) 2. Цифровые инструкции для персонала о последовательности выполнения операций 	Повышение скорости обучения персонала, возможность имитации людей производственной ситуации в потоке и отработка действий сотрудниками
NordStar (Норникель), авиастроение [71]	1. Внедрена обучающая платформа виртуальной реальности для подготовки летных и cabinных экипажей. Имитируется кабина Boeing 737-800 авиакомпании NordStar, в которой летят 180 анимированных пассажиров. Все оборудование не только можно брать в руки и передвигать, но даже виртуально надевать на себя.	Обучающие сценарии предполагают отработку действий в различных нештатных ситуациях на борту, например, при разгерметизации салона или эвакуации людей. Большую значимость имеет оценка результатов испытаний, так как система укажет на ошибки, и специалист сможет работать над их исправлением. Благодаря дополнительной подготовке с использованием VR-платформы сотрудники авиакомпании смогут развить свои ключевые навыки. Она позволит смоделировать любую ситуацию. Визуальная отработка помогает лучше запоминать последовательность действий, а звук и спецэффекты создают атмосферу полного погружения в процесс обучения.
Сибирская Угольная Энергетическая Компания (АО «СУЭК»), горно-	1. Внедрение тренажера «Живая шахта» в виртуальной реальности по безопасному выполнению горнопроходческих работ. В числе постоянно обучающихся на тренажере - бойцы вспомогательных горноспасательных команд (ВГК) угледобывающих предприятий. Они отрабатывают правильность и	Сокращение времени проведения инструктажей, повышение качества обучения промышленной безопасности и работе в шахтах. Онлайн оценка действий сотрудника в «виртуальной шахте»

металлургическая отрасль	слаженность действий в условиях виртуальных обрушений, задымленных участков, очагов возгорания. 2. Обучение персонала выполнению стандартизированных операционных процедур по выполнению работ на выработках	Возможность создавать любые сценарии аварий в шахтах и поломок магистральных конвейеров
ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»	1. Тренажер виртуальной реальности с имитацией производственных и чрезвычайных ситуаций для отработки действий персонала в безопасных условиях 2. Виртуальный помощник бригад ТОиР в планшетах и очках дополненной реальности	Использование VR-тренажеров для обучения работников навыкам ликвидации аварийных ситуаций обеспечивает лучшее усвоение материала и, как следствие, снижает риск производственных травм.
ПАО «Северсталь», Череповецкий металлургический комбинат	1. Обучение персонала в виртуальной реальности на специальных тренажерах 2. Визуализация местоположения оборудования, цифровые инструкции по работе с оборудованием	Отсутствие временных и транспортных издержек, экономия ресурсов времени и оборудования. Обучение персонала позволяет минимизировать риски и опасные ситуации за счет моделирования сценариев. Скорость обучения персонала возросла в 4 раза.
«Якутскэнерго», энергетическая отрасль	Обучение персонала через технологии виртуальной и дополненной реальности правильному проведению работ на электроустановках (Тренажер «Выполнение организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках классом 110/10 кВ со снятием напряжения»)	Решение позволяет погрузиться в обстановку производственной деятельности с ощущением присутствия обучаемого в каждом эпизоде технологического процесса подготовки и выполнения рабочего задания.
Технологии энергосбережения Сибири, энергетическая отрасль [106]	Приложение дополненной реальности для обслуживания электротехнического оборудования. Инженер получает доступ к цифровым инструкциям и документации. Представлена возможность связи и демонстрации со специалистами группы технической и инженерной поддержки (удаленный эксперт)	Уменьшение числа ошибок, ускоренная проверка данных, получение оперативного доступа к показателям работы оборудования.
ГК КАМАЗ, производство грузовых транспортных средств [43]	1. Цифровые бумажные инструкции по выполнению сборочных операций воспроизводиться через очки дополненной и виртуальной реальности 2. Планшет с дополненной реальности наводится на кабину, на мониторе воспроизводиться пошаговая инструкция по сборке и контролю качества	Уменьшена длительность подготовки персонала до 10 дней вместо нескольких лет.
ЕВРАЗ, металлургия, добыча полезных ископаемых	Виртуальная реальность используется для имитации бизнес-процесса при обучении сотрудников и ознакомления кандидатов на вакансию в компании с условиями труда на предприятии.	Виртуальные инструкции и ассистенты широко используются в технологических операциях и в планировании производственных операций.

	На шахте «Шерегешская» запустили 3 тренажера-симулятора по наиболее травмоопасным операциям для отработки вождения на самоходной технике. На трехмерной модели предприятия они осваивают сцепку-расцепку и постановку сошедших с рельсов вагонеток, а также контактных электровозов в подземных горных выработках шахты.	
ГК Кронштадт, электротехника и микроэлектроника	1. Создана единая виртуальная тренажерная среда (виртуальные учебные центры). В рамках учебного центра персонал обучается производственным навыкам создания имитируемых средств, производящихся в ГК; 2. Компания предоставляет услугу виртуального тренажера для обучения пилотов для внешних заказчиков.	Благодаря цифровым технологиям работники оттачивают сложные операции в безопасных условиях
Ростех, Объединенная двигателестроительная корпорация, ООО «Саровский инженерный Центр»	Внедрена система виртуальной реальности для работы с цифровыми двойниками двигателей (SaM146, ПД-14, ПД-35, морских газотурбинных двигателей, двигателя для Су-57). В рамках данной системы, корректируется геометрия объектов, проводится анализ и расчеты состояния двигателя при нагрузках	Внедрение комбинированной системы проектирования позволяет сократить сроки проектирования и испытания двигателей, повысить их надежность и снизить затраты на обслуживание в течение жизненного цикла.
Синара – Транспортные машины	приложение виртуального прототипирования для анализа конструкции, эргономичности операций обслуживания и ремонта локомотивов в виртуальной реальности.	Технология позволила трансформировать процесс разработки, оценить производственные показатели внутри локомотива.
Автоваз, автомобилестроение	Моделирование в виртуальной реальности автомобилей Lada. очки виртуальной реальности позволяют оценить аэродинамические свойства автомобиля в любых условиях, проверки климат-контроля, оценки жесткости кузова и его качества и для имитации аварий и испытания средств безопасности.	Виртуально проводится 75-80% краш-тестов. Результаты испытаний всегда подтверждают полученные расчеты.
Стан, станкостроение	Платформа дополненной реальности для организации процесса ремонта станков с ЧПУ. На планшеты и очки выводятся инструкции по работе, реализован принцип удаленного ассистента. Виртуальная реальность применяется для визуализации стандартов выполнения бизнес-процесса и обучения сотрудников последовательностям операций.	Виртуальная и дополненная реальность используются в качестве визуализации стандарта выполнения операционных процедур. Сеанс оперативной связи через платформу помогает заказчику экономить от ста тысяч до миллиона рублей.
Объединенная химическая компания «Уралхим», производство	1. Обучение электромонтеров в тренажере виртуальной реальности по операциям: вывод в ремонт комплектного распределительного устройства (КРУ) 6 кВ, ввод указанного оборудования в работу.	Сокращение времени обучения электромонтера до 4-6 часов, электронный контроль результата обучения, запись занятий. VR-тренажеры повысили остаточные знания до 88.5%.

минеральных удобрений	2. Обучение сотрудников технике безопасности и безопасности выполнения производственных и электромонтажных работ.	
Горнорудный дивизион Госкорпорации «Росатом», АО «Хиагда», ЦКМБ	Цифровой двойник полигона позволяет получать графические пошаговые руководства к действию, идентифицировать оборудование по различным меткам, выполняя операции свободными руками, заполнять голосовыми командами контрольные параметры и чек-листы, а также осуществлять фото, видео и аудио фиксацию самого факта проведенных работ. Также предусмотрена возможность переводить в текст аудио сообщения. При наличии связи система позволяет осуществлять вызовы в режиме индивидуальной и групповой видеоконференцсвязи (ВКС) с удаленными экспертами. Благодаря AR – очкам впервые в Росатоме параллельно с очной проверкой РППК проведена удаленная приемка цифрового ПСР - образца «Производство светильников» на прирельсовой базе АО «Хиагда» в Чите.	Иммерсивные технологии позволяют демонстрировать составные узлы любого изделия в масштабе 1 к 1. VR-платформа использует такой формат моделей, который можно выгружать напрямую, не теряя время на конвертацию. Обширный функционал ПО позволяет проверять эргономику и проводить сборку-разборку узлов оборудования, а также обучать технических специалистов. В цифровом образце «Производственное планирование и контроль» продемонстрирована цифровая модель планирования (многофакторный анализ) с автоматической корректировкой при изменении входных параметров.
Машиностроительный дивизион Госкорпорации «Росатом»	Использовались технологии виртуальной реальности для обучения стропальщиков.	Обширный функционал ПО позволяет проверять эргономику и проводить сборку-разборку узлов оборудования, а также обучать технических специалистов.
Топливный дивизион Госкорпорации «Росатом», «Машиностроительный завод» [22]	Оценка состояния производственного оборудования через визуальную инспекцию оборудования в очках дополненной реальности. Воспроизводиться цифровые пошаговые инструкции по проведению инспекции оборудования	Реализация данного метода позволила сократить время операций и повысить качество обходов оборудования, а также получить данные в цифровом виде для последующего анализа.
Электроэнергетический дивизион Госкорпорации «Росатом», «Атомэнергомаш», «Электрохимический завод»	1. Инспекции полигонов с помощью очков виртуальной реальности Действия контролера ОТК передавались на компьютеры участников дистанционного тестирования и обеспечивали обратную связь. 2. Сотрудники при помощи AR проходят входной контроль заготовок колен главного циркуляционного трубопровода 3. Обучение технике безопасности электротехнического персонала предприятия в виртуальной реальности.	При приемке площадки эксперты технической дирекции предприятия демонстрировали чертежи и маркировку принимающей стороне. В итоге ответственные специалисты получали обратную связь на месте, дистанционно. Ускорение подготовки электротехников и инженеров-электриков

Enel, Италия, «Невинномысская ГРЭС», Россия [125]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Очки дополненной и виртуальной реальности применяются для обучения персонала при подключении высоковольтных линий 2. В очки установлен электронный счетчик с дистанционной поддержкой (удаленный эксперт) для проведения плановых осмотров и оценки состояния высоковольтных линий. 	Повышение эффективности контроля состояния высоковольтных линий, уменьшение риска отключения электричества при наступлении аварийных ситуаций за счет большей подготовленности персонала
Холдинг РЖД, грузовые перевозки, производство подвижного состава [30]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тренажер виртуальной реальности, применяемый в процессе обучения работников (электромонтажер пути, машинист и т.д.) правильной технике выполнения операций и требованиям охраны труда; 2. Экспозиция в дополненной реальности для визуализации выставочно-лекционного комплекса РЖД. При наведении камеры устройства на макет тягача пользователь может активировать функцию сканирования для просмотра внутренних коммуникаций 3. Инспекционный контроль производственной площадки с использованием очков виртуальной и дополненной реальности 	РЖД повысить результаты контрольных тестов на 28,5%, а информация, представленная через VR, усваивалась в 3 раза лучше, чем обычно [30]. Тренажер обеспечивает моделирование вагона пригородного поезда, кабину управления в движении по участку и взаимодействие с объектами инфраструктуры
АО «Трансмашхолдинг» (ТМХ), производство тяжелого подвижного состава [103]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологии виртуальной и дополненной реальности применяются при проектировании локомотива. Создаются 2D,3D модели объектов, с которыми инженеры и конструктора работают. 2. Запущен виртуальный тренажер контролера качества премиальной резьбы; виртуальный лабораторный стенд обучения программированию станков. 3. Оцифровка станков в виртуальной реальности позволяет осуществлять перепланировку решений по размещению оборудования в потоке, а виртуальный (цифровой) двойник рабочего места позволяет планировать производственную программу. 	Экономия на физическом проектировании (без необходимости постройки дорогостоящего макета) за счет цифрового двойника локомотива.
BIOCAD, производство медицинских препаратов [43,76]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрению обучающих симуляций в виртуальной реальности. Новые сотрудники этой компании перед процедурой заправки мешка биореактора изучают регламент работы с оборудованием в VR. 	В ходе получасовой сессии изучают теорию, а затем проделывают все действия самостоятельно, в режиме тренировки. Такая стажировка значительно сокращает время адаптации новичков и экономит средства компании на исправление ошибок, контроль качества.
Союз-М, текстильная индустрия	Совмещена технология 3D визуализации и дополненная реальность, позволяющая совмещать дизайн-концепты мебели и обивки и осуществлять пространственное планирование размещения объектов.	Сокращение времени на управление ассортиментом, визуальная диагностика и подбор наилучших цветовых сочетаний. Сокращение времени на менеджеров, консультантов и клиентов на разработку и согласование

		дизайн-концептов, из-за чего уменьшилось время производственного цикла.
Опыт иностранных компаний в области применения технологий виртуальной и дополненной реальности в бизнес-процессах		
Wärtsilä, Финляндия Производство судовых двигателей [182]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Симулятор виртуальной реальности для обучения персонала работе с системами и механизмами. На предприятии разработано более 3000 сценариев обучения. 2. Визуализация физической модели двигателя в виртуальной среде 3. Виртуальный ассистент-инспектор с предиктивной аналитикой в очках дополненной реальности. 	<p>AR-очки предупреждают о возможных или текущих поломках при технической инспекции судна, и даже показывают пошаговое руководство по устранению проблемы.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сокращение времени обучения персонала ремонтных бригад на 40-50% от изначальных показателей, повышение точности ремонтов до 30% и снижение числа ошибок при инспекциях 35% промышленных зон.
Siemens AG, Германия, производство электроники и электротехники [173]	<ol style="list-style-type: none"> 1. AR для технического обслуживания газовых турбин. Сотрудники используют очки Microsoft HoloLens, которые проецируют цифровые инструкции, данные с датчиков (температура, давление) и 3D-модели компонентов поверх реального оборудования. 2. VR-тренажеры для обучения операторов. Виртуальные симуляции работы на электростанциях и управления критическими процессами. 	<p>Внедрение цифровых двойников на заводе в Амберге сократило время перенастройки производственных линий на 40% за счет симуляции действий работников</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сокращение времени обслуживания турбин на 30% за счет мгновенного доступа к данным. • Уменьшение ошибок при ремонте на 25%. • Снижение времени обучения новых сотрудников на 50%.
Siemens Gamesa, США, Испания, энергетика [173]	<p>Техники и специалисты ремонтных бригад используют AR-очки для доступа к данным датчиков на ветровых электростанциях и инструкциям по ремонту оборудования.</p> <p>Осуществляется обучение сотрудников и производственные инструктажи в виртуальной реальности.</p>	<p>Реализация режима свободного доступа к инструкциям при работе на высоте. Сокращение количества ошибок, увеличение точности настройки электрической сети и проведения ремонтных работ. Рост производительности труда на 34% при сборке ветряных энергических установок.</p> <p>VR-решения обучают рабочих и помогают им приобретать навыки и опыт, необходимые для планирования, установки и эксплуатации морских месторождений.</p>
Heineken, Нидерланды, производство напитков [135]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сотрудники на производстве используют AR-очки для проверки емкостей и упаковки на предмет нарушения целостности тары. Осуществляется также технический контроль качества поставляемого стекла и диагностика неисправностей. 	<p>Повышение скорости выполнения процесса инспекции, аудита, контроля качества, диагностики неисправности оборудования.</p> <p>Сокращение времени на проведение технического обслуживания и ремонта оборудования. Сокращены</p>

	<p>2. Цифровой двойник производственных линий в виртуальной реальности позволяет отслеживать движения сырья и материалов по потоку.</p> <p>3. Реализация принципа «удаленного эксперта» через трансляцию в очках дополненной реальности при настройке производственных линий</p>	затраты на вызов технологов из-за границы при запуске производственных линий, а также при вызовах, в рамках технических консультаций по состоянию оборудования и продуктам на выходе [137].
BMW, Германия, автомобилестроение [156]	<p>1. Полноценно внедрена виртуальная реальность в жизненный цикл конструирования, производства и продажи автомобиля;</p> <p>2. Внедрение виртуальной реальности в бизнес-процессы разработки конструкторской документации, осуществление исследований, моделирования и проектирования автомобиля конструкторскими командам;</p> <p>3. С помощью виртуальной и дополненной реальности осуществляется оценка эргономики рабочего места и салона автомобиля.</p> <p>4. Программное обеспечение BMW Virtual Viewer для виртуальной конфигурации автомобиля проектировщиками;</p> <p>5. Подготовка пилотов автомобильных гонок, оценка действий пилотов и поведения машин на виртуальном тренажере;</p>	<p>Виртуальное прототипирование сократило затраты на физические прототипы и повысило точность решений. Конструкторские команды используют VR для совместной работы над 3D-моделями, быстрого тестирования идей и внесения изменений в документацию в режиме реального времени [170]. ПО дает проектировщикам возможность создавать и тестировать виртуальные конфигурации автомобилей, экспериментировать с материалами и деталями, что увеличивает скорость принятия функциональных и дизайнерских решений.</p> <p>Сокращение времени производственного цикла сборки при мелкосерийном производстве автомобиля на 25%.</p>
Mercedes Benz, Германия, автомобилестроение [127]	Виртуальная среда разработки и проектирования автомобиля.	Технология ускоряет вывод нового автомобиля на рынок и снижает стоимость разработки на более чем 30%, ускорение вывода продукта из цеха сборки на 15-20%.
Caterpillar, США, производство тяжелой грузовой техники [168,174,178]	<p>1. AR для ремонта тяжелой техники. Механики используют планшеты с AR-приложениями, чтобы видеть 3D-модели двигателей и инструкции по обслуживанию.</p> <p>2. Виртуальный осмотр узлов и систем грузовой техники на предмет отклонений.</p> <p>3. Инструктаж в виртуальной и дополненной реальности по правилам промышленной безопасности и охраны труда.</p>	<p>Виртуальная система проектирования и конструирования при сканировании трактора позволяет сравнивать деталь с эталонными параметрами и выводить информацию по необходимым действиям. Сейчас в систему внесено более 6000 позиций.</p> <p>Реализация курса по охране труда в виртуальной реальности сократило количество ошибок, вызванных ошибками сотрудников. AR также помог преодолеть разрыв в знаниях между новыми и опытными специалистами, что привело к повышению удовлетворенности клиентов.</p>

<p>John Deere, США, производство сельскохозяйственной техники [144]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. AR для обслуживания тракторов. Фермеры и механики организации используют AR-приложения на смартфонах, чтобы видеть инструкции по ремонту и данные с датчиков внутри трактора. 2. Операторы производственных линий используют цифровые инструкции, выводимые на планшеты дополненной реальности 	<p>Использование VR-симулятора в качестве в процессе обучения инженерным навыкам, наряду с практическими занятиями в лабораториях, улучшает изучение конструкции и назначения сельскохозяйственной техники. За счет понимания конструкции происходит сокращение расходов на техническое обслуживание и ремонт [162].</p>
<p>Porsche, Германия, автомобилестроение [43]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Реализуется проект PARiS (Porsche Augmented Reality in Service), позволяющий работать проектным командам с 3D макетом автомобиля 2. С помощью очков дополненной реальности техник получает возможность проводить сканирование автомобиля: мастера могут осмотреть систему зарядки, аккумулятор, электромашину, кабельные соединения внутри автомобиля, не заглядывая под капот и не проводя разборку автомобиля 	<p>По оценкам Porsche, технология AR позволяет специалистам сервисного обслуживания решать сложные проблемы на 40% быстрее, чем они могли это делать до появления технологии AR, что обеспечивает мобильность в коммуникациях и обмене информацией.</p>
<p>McLaren, Англия, автомобилестроение [155]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Создание виртуальной дизайн-студии для проектировщиков и инженеров (Vector Suite). 2. Конфигуратор дополненной и виртуальной реальности позволяет полностью настроить автомобиль, выбирая из множества цветов кузова, вариантов колес, тормозных суппортов и салона (цифровая презентация) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сокращение времени: проектирование в VR позволяет разрабатывать, просматривать и редактировать эскизы быстрее, чем традиционными методами. За 5-6 минут дизайнер может создать объемную модель нового автомобиля, в то время как обычно на создание эскизов уходит две недели, а на преобразование 2D в 3D - неделя. 2. Снижение затрат: Проекты в VR можно просматривать в режиме иммерсивного просмотра в VR или AR, что может избавить команды дизайнеров от необходимости создавать физические модели проектов. 3. Повышение качества: Vector Suite доступен для совместной работы и импровизированного редактирования дизайнов из локальных и удаленных мест, что позволяет дизайнерам быть более инновационными, раскрывая весь потенциал дизайна. 4. Увеличение объема производства автомобилей с 4 до 6 тыс. шт. к 2025 г. за счет трансформации [179].

<p>Ford Motors Company, США, автомобилестроение [127,129]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технология FIVE (Ford Immersive Vehicle Environment) для создания виртуальных образов еще не существующих транспортных средств. Проектные команды оснащены очками дополненной и виртуальной реальности, которые позволяют перевести процесс конструирования в цифровой вид (виртуальное прототипирование). Технический персонал может подключаться к системе из любого места 2. Обучение сотрудников в виртуальной реальности сборочным операциям, диагностике и выполнению сервисного обслуживания высоковольтной системы автомобиля; 3. Очки виртуальной и дополненной реальности позволяют воспроизводить цифровые инструкции по сборке с порядком выполнения операций, необходимыми действиями и оборудованием для сборки 4. Очки дополненной реальности визуализируют границы опасных зон 	<p>Новая система виртуальной реальности может использоваться в качестве инструмента постоянного обучения, позволяя техническим специалистам осваивать специфические навыки в рамках программы технического обучения Ford. Обучение в виртуальной реальности может привлечь новых сотрудников в сферу ремонта автомобилей, что по праву делает эту профессию высокотехнологичной и перспективной отраслью, в которой технический персонал может более эффективно обучаться в современной среде [150].</p> <p>Повышение производительности технических специалистов – ежедневно обрабатывается около 5000 запросов и дистанционно решается около 95% таких обращений.</p>
<p>Drillmec, Италия Производство буровых установок [132]</p>	<p>Drillmec внедрила дополненную реальность в повседневную работу сотрудников, выполняющих задачи по техническому обслуживанию, контролю и ремонту оборудования в удаленных от предприятия районах. Также в модуле присутствует дистанционное консультирование техников, экспертная поддержка (удаленный эксперт и дистанционный контролинг) в процессе выполнения работ.</p>	<p>Сокращение временных и материальных затрат на ТОиР, увеличение пропускной способности производственной линии, сокращение числа задержек за счет оперативной коммуникации с техническими службами и за счет обслуживания оборудования. Сокращение времени ремонта на 25% и увеличение пропускной способности линий на 15-20%.</p>
<p>Volkswagen, Германия, автомобилестроение [180]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Навигация по заводу с использованием дополненной реальности, визуализация опасных зон, зон движения транспорта, мест хранения и размещения продукции и полуфабрикатов 2. Имитация производственного процесса в виртуальной реальности для настройки параметров производственных линий 3. VR-проектирование автомобилей. Инженеры используют VR-шлемы для создания цифровых прототипов, проверки эргономики салона и тестирования дизайна в виртуальной среде. 4. AR для контроля качества на конвейере. Рабочие с очками AR получают подсказки по установке деталей и автоматическую проверку соответствия стандартам. 	<p>Сокращение времени разработки новых моделей на 20%. Уменьшение затрат на физические прототипы на 1 млн евро в год. Повышение точности сборки на 15%.</p>

<p>Boeing, США Аэрокосмическая индустрия [120]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Персонал оснащен очками и планшетами дополненной реальности, на которые проецируются цифровые инструкции по порядку выполнения операций; 2. Очки виртуальной реальности используются конструкторскими командами при проектировании внутренних инженерных систем самолета, специалистами технического обслуживания при осмотре самолета 3. Цифровой контроль качества через очки дополненной реальности с использованием датчиков на оборудовании 4. Система дополненной и виртуальной реальности позволяет отслеживать действия сотрудников и собирать данные по движению человека в пространстве и при работе с оборудованием. На основании собранных данных проводится моделирование и проектирование альтернативных действий персонала на уровне микроэлементного нормирования труда. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сокращение времени на сборку и соединение кабелей между компонентами бортовых систем самолетов на 25%, сокращение количества ошибок на 40%; 2. Инженеры через AR-очки видят температурные аномалии двигателей, что ускоряет диагностику двигателя на 40%.
<p>Airbus, США Аэрокосмическая индустрия [111]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. AR для сборки самолетов. Техники на заводе используют Microsoft HoloLens 2, чтобы видеть цифровые метки на деталях фюзеляжа и получать пошаговые инструкции. 2. VR-тренинги для пилотов. Виртуальные симуляции аварийных ситуаций и отработка действий в кабине Airbus A350. 	<p>Повышение точности проверок на 90%. Ускорение процесса инспекции на 60%.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сокращение времени сборки на 35% и снижение ошибок на 50%. • Уменьшение затрат на обучение пилотов на €10 млн в год.
<p>Lockheed Martin, США Аэрокосмическая индустрия [151]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Визуализация конструкторских чертежей самолета F-35 в очках виртуальной реальности инженера 2. Технологии дополненной реальности представлены на всех этапах сборки, обслуживания, ремонта, производства, испытаний оборудования. 3. VR-симуляторы для проектирования спутников и космических аппаратов, визуализация специфических компонентов и функций компонентов за пределами физического барьера 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение скорости работы инженеров на 30% 2. Точность выполнения операций возросла до 96% 3. Сокращение времени разработки на 20%. 4. Уменьшение времени прототипирования на 35%. 5. Благодаря внедрению AR-технологий удалось сократить процесс производства космических аппаратов с 8 часов до 45 минут. Также производственный процесс, который включал бурение и вставку панелей в космический корабль Orion, теперь занимает около двух недель вместо шести недель ранее.

Fiat Chrysler Automobiles, США, Италия [123,132]	Оснащение производственного участка и персонала операции по сборке зубчатых передач и цепей очками дополненной реальности (производственная «AR-группа»).	Производительность в «AR-группе» выросла на 38%, качество – на 80% относительно группы рабочих, которая применяла традиционные методы сборки.
Ocean Infinity, США Производство оборудования для подводного сканирования [132,159]	1. Приложения виртуальной и дополненной реальности для визуализации работы подводных сканеров и промышленных станков в рамках концепции цифрового двойника; 2. Визуализация производственного потока, проектирования расстановки оборудования в пространстве.	Сокращение числа ошибок при проведении сборке изделий. Повышение качества при производстве сканеров. Сокращение времени производства за счет выстраивания производственной линии в последовательности с минимальным количеством перемещения продукции и встроенным контролем качества между этапами на базе дополненной реальности. Оптимизация логистики производства на 20%.
Lego, Дания, производство изделий из пластмасс [178]	1. Создание макета изделия в виртуальной реальности, визуализация проекта с разных проекций и разработка концепции дизайна конструктора при 2. Инструкции по этапам сборки конструктора с помощью приложения дополненной реальности.	Структурирование процедуры адаптации персонала приводят к 70%-ному росту производительности труда среди сотрудников [115,160]. Другое исследование сообщает, что стандартизированные процессы адаптации приводят к 62%-ному росту производительности труда новых сотрудников.
ACGO, США, производство сельскохозяйственной техники и оборудования [112,132]	Очки дополненной реальности позволяют сканировать информацию о производимом изделии и выводить на дисплей инструкции.	1. Сокращение времени проверки более чем на 30%, сокращении времени производства на 25% для сборок с малым объемом и высокой сложностью 2. Ускорение обучение рабочих на 300% относительно традиционного обучения.
Australian Meat Processor Corporation's, Австралия, мясопереработка [178]	Виртуальные тренажеры разделочной и упаковочной линий. В зависимости от модуля сотрудники отрабатывают могут выполнять различные действия на производстве.	Технология виртуального симулятора применяется для оценки и обучения персонала правильным действиям и охране труда.
Pacific Gas and Electric (PG&E), США, энергогенерация, газоснабжение [43,167]	1. Компания применяет VR-очки для передачи о порядке монтажа и установки электрических и газоснабжающих сетей. 2. Технические специалисты оснащены очками виртуальной реальности. Очки позволяют осуществить дистанционный осмотр линий магистральных передач (виртуальная инспекция).	Технология VR позволяет быстрее и безопаснее проверять оборудование, снижая риск травматизации технического персонала. Увеличение скорости монтажных работ на 34%.

<p>Bouygues Telecom, Франция, [167]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологии дополненной реальности используются для просмотра подземной газовой сети. Данное решение позволяет специалистам определять зоны риска. 2. При сканировании инженерных сетей выводится цифровой двойник газовых труб, который позволяет точно идентифицировать места утечки газа, нарушения целостности труб. 	<p>Использование решения позволяет актуализировать расположение труб и обеспечить более гибкую проверку работ с газовыми сетями [139].</p>
<p>General Electric (GE), США [153]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрены очки виртуальной и дополненной реальности для обучения персонала на местах технического обзору силовых трансформаторов, процедурам эксплуатации, технического обслуживания и безопасному выполнению работ. Благодаря тренингам GE в виртуальной реальности пользователи избегают всех рисков для безопасности и окружающей среды, что позволяет им выполнять опасные и сложные задачи, которые невозможно было бы выполнить в реальности. 2. Технические эксперты и специалисты по цифровому обучению моделируют реальный опыт работы на месте. Обучающие модули GE VR позволяют владельцам силовых трансформаторов получать хорошо обученные команды, которые поддерживают оборудование в лучшем состоянии, предвидя потребности в техническом обслуживании. 	<p>Сокращаются общие затраты на обучение, поскольку не требуется никакого реального оборудования. Обучение в виртуальной реальности значительно сокращает время, необходимое для освоения практических операций. Обучение может повторяться много раз, пока обучаемый не освоится с заданием, а обучение на месте, которое обычно занимает один-два дня, сокращается до 20 минут. Экономия времени ан выполнения операций сборщиками от 8 до 25% времени [153,159].</p>
<p>GE Healthcare, производство медицинского оборудования [43]</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. AR-помощник для компании GE Healthcare. Решение позволяет осуществлять операции по сборке на складе AR-очков. Функционал AR-помощника: предоставление информации о месте нахождения товара в режиме реального времени. 2. Голографическое сканирование поверхностей и физических объектов, передача данных об объекте в очки дополненной или виртуальной реальности для отслеживания параметров или состояния объекта. 3. Врачи могут детально просматривать 3D-изображения пациента и медицинские сканы с помощью гарнитуры дополненной реальности, а затем взаимодействовать удаленно 	<p>Платформа позволяет врачам одновременно отображать до четырех видеопотоков для повышения эффективности рабочего процесса, взаимодействовать с 3D-моделью анатомии пациента для поддержки планирования во время процедуры и удаленно сотрудничать с другими поставщиками медицинских услуг для консультаций, обучения или контроля за процедурой. Возможности отображения информации на мониторе дополненной реальности в трехмерном анатомическом изображение, предлагаемое голографическим сканированием, меняют правила игры и открывают новые перспективы лечения</p>
<p>PGE Polska Grupa Energetyczna, Польша, энергоснабжение,</p>	<p>Техническое обслуживание ветреных станций осуществляется с помощью очков VR. Операторы получают необходимую информацию об этапах проверки, техническом состоянии узлов,</p>	<p>Снижение риска получения травм техниками, более быстрое выполнение операций проверки технического состояния электрического оборудования.</p>

энергогенерация [112,114]		качестве проведенных ремонтных работ. Дистанционный эксперт удаленно проверяет качество работ.	
ThyssenKrupp Германия, производство лифтового оборудования, производство водного и подводного транспорта [43,119,148,177]	AG,	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрение цифрового проектирования и прототипирования посредством очков дополненной реальности. 2. Рабочие получают цифровые инструкции через очки дополненной реальности 3. Проведение учебных семинаров для персонала по правильному выполнению операций и последовательности действий в рамках трансляции и личного взаимодействия с изделиями в дополненной реальности 	<p>Перевод проектной документации из 2D формата в интерактивный 3D формат, значительное упрощение процесса передачи конструкторской документации за счет перевода в цифровой вид и обеспечения устройствами для считывания и воспроизведения графических материалов.</p> <p>Эргономика и повышение качества и скорости выполнения сборочных операций, исключение ошибок при чтении документации.</p>
HAAS, станкостроение [110,184]	США,	<ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрение AR в процесс сборки и обработки деталей на станках. Операторы оснащены специальными очками, которые считывают положение детали в пространстве, проводят контроль качества и могут воспроизводить цифровые инструкции для персонала. 2. Симуляционное обучение персонала и обучение действием сотрудников посредством проведения тренингов в дополненной реальности. Дополнительно очки имеет функцию связи для обмена данными с отделом контроля качества и дистанционной проверки качества выполняемых работ 	Сокращение стоимости производства партии из 240 шт. с ~32 000 до 23 800 долл. США). Сокращение времени на производство одной детали на 30%.
Generix, Кнapp, логистика и складское управление [91,113], [134]	Франция, Австрия,	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вывод информации о заказе, его месте расположения, весе и прочих атрибутах заказа на очки дополненной реальности. AR очки подключены к WMS, размещая информацию на экран очков, в соответствии с интернет-заказом. 2. Сканирование штрих-кодов товара и передача данных для заполнения накладных, в т.ч. заполнение данных в электронном документообороте. 	Увеличение выработки рабочих (численность отраженных заказов к количеству персонала): 20-25 тыс. заказов ежедневно, при штатной численности работников склада в 300 чел. (т.е. около 83 габаритных заказа на 1 чел.). Повышение эргономики, производительности труда и скорости выполнения операций на 15%.
Amazon, логистика [142]	США,	<ol style="list-style-type: none"> 1. Очки дополненной реальности используются как средство визуализации производственных заданий персонала – на очки воспроизводится информация об необходимом товаре, месте его хранения, инструкции по необходимому оборудованию для перемещения товара; 2. AR-инструкции по работе с оборудованием, дополненные соответствующей документацией по продуктам и правилам эксплуатации; 	Использование цифровых моделей склада и визуализация местоположения товара через очки дополненной реальности привело к снижению времени подбора товаров на 25%.

	<p>3. На очки виртуальной реальности проецируется 3D-модель склада, которая позволяет визуализировать складскую логистику. Модель Amazon складской логистики используется для повышения квалификации на рабочем месте, а также отработкой необходимых действий по погрузке товара.</p>	
<p>Welsh Water, Уэльс, водоснабжение и водоотведение [183]</p>	<p>1. Очки виртуальной и дополненной реальности применяются в процессе передачи информации между управленческим звеном, проектировщиками систем водоснабжения и монтажниками. 2. Очки AR и VR воспроизводят 360-градусный обзор места проведения работ, визуализируют существующие инженерные коммуникации, видимость критических точек интереса для рабочей группы.</p>	<p>1. Риск-менеджмент (инцидент-менеджмент) и контроль качества в части прокладки трубопроводных сетей, инцидент-менеджмент, дистанционный контроль качества выполняемых работ. 2. Оценка эргономики и микроэлементное нормирование труда позволяет сократить трудозатраты. Совокупность результатов от использования иммерсивных технологий составила порядка 32 млн. евро в год.</p>

Приложение В

Проблематика применения сквозных цифровых иммерсивных технологий

Предприятие, индустрия	Характеристика и описание вызовов, с которыми столкнулись промышленные компании при внедрении иммерсивных технологий	Кодирование проблематики
Газпромнефть, нефтедобыча	Газпромнефть планирует перевести две трети оборудования на AR-сервисы, но это сопряжено с рисками интеграции с устаревшими системами. Кроме того, точность данных от датчиков в AR может быть проблематичной, а широкое внедрение требует дополнительного обучения персонала.	Проблемы интеграции и данных; Организационно-кадровые вызовы.
Башнефть, нефтедобыча	В Башнефти корректировка инструкций на основе анализа ошибок указывает на необходимость итеративных доработок в процессе внедрения. Однако оценка возврата инвестиций (ROI) для автоматизированного обучения не описана, что оставляет пробелы в понимании общей эффективности.	Методология внедрения и измерения эффективности.
Лукойл, нефтедобыча	Масштабное обучение более 13 тысяч сотрудников подразумевает сложности в кастомизации VR-контента под разные роли. Метрики снижения ошибок в геологоразведке упоминаются вскользь, без детальной методологии их расчета.	Организационно-кадровые вызовы; Методология внедрения и измерения эффективности.
Татнефть, нефтедобыча	Внедрение AR в Татнефти для предотвращения простоев требует интеграции с системами АСУТП, где точность 3D-моделей эргономики может быть недостаточной на начальных этапах. Валидация этих моделей не детализирована.	Проблемы интеграции и данных; Методология внедрения и измерения эффективности.
Сибур, химическая промышленность	Сокращение времени обучения до недели предполагает вызовы в адаптации VR для новичков, особенно при дистанционном управлении роботами, где аппаратные ограничения, такие как задержки в рендеринге, могли замедлить процесс.	Организационно-кадровые вызовы; Технологические и аппаратные ограничения.
Норильский никель, горно-металлургическая отрасль	Имитация производственных ситуаций в Норильском никеле требует создания высокоточных моделей, но метрики для оценки влияния на человеческий фактор в потоках производства отсутствуют, что усложняет измерение реальных улучшений.	Методология внедрения и измерения эффективности.

NordStar (Норникель), авиастроение	Оценка ошибок в нештатных сценариях через VR подразумевает необходимость доработки платформы для большего реализма погружения. Измерение навыков после тренингов не стандартизировано, оставляя пробелы в оценке.	Технологические и аппаратные ограничения; Методология внедрения и измерения эффективности.
СУЭК, горно-металлургическая отрасль	Создание сценариев аварий в VR опирается на реальные данные инцидентов, но онлайн-оценка действий горноспасателей сталкивается с вызовами в интеграции данных.	Проблемы интеграции и данных; Методология внедрения и измерения эффективности.
Магнитогорский металлургический комбинат, металлургия	Имитация чрезвычайных ситуаций в Магнитогорском ММК помогает отрабатывать действия, но без валидации моделей риски недооценки реальных угроз остаются высокими. Методология снижения травм не описана подробно.	Методология внедрения и измерения эффективности.
Северсталь, металлургия	Четырехкратное ускорение обучения требует предварительного обучения персонала работе с VR, а также базовых метрик для транспортных издержек, чтобы точно оценить экономию.	Организационно-кадровые вызовы; Методология внедрения и измерения эффективности.
Якутскэнерго, энергетическая отрасль	Погружение в сценарии сталкивается с вызовами в создании реалистичных моделей, особенно для оценки безопасности, где аппаратные лимиты VR могут исказить восприятие.	Технологические и аппаратные ограничения; Методология внедрения и измерения эффективности.
Технологии энергосбережения Сибири, энергетическая отрасль	Удаленная поддержка зависит от стабильности связи, и ошибки в доступе к данным оборудования могли возникать на этапе интеграции, хотя это не детализировано.	Проблемы интеграции и данных.
КАМАЗ, производство грузовых транспортных средств	Сокращение подготовки до 10 дней подразумевает переход от традиционных методов, где вызовы AR-очков и метриках эргономики могли замедлить внедрение.	Организационно-кадровые вызовы; Методология внедрения и измерения эффективности.
ЕВРАЗ, металлургия, добыча полезных ископаемых	Имитация травмоопасных операций требует точных 3D-моделей шахт.	Технологические и аппаратные ограничения; Методология внедрения и измерения эффективности.

Кронштадт, электротехника и микроэлектроника	Создание единой VR-среды для внешних заказчиков сталкивается с вызовами интеграции с партнерскими системами, а эффективность для сложных операций требует дополнительной валидации.	Проблемы интеграции и данных; Методология внедрения и измерения эффективности.
Ростех (ОДК, Саровский инженерный Центр), авиастроение	Корректировка геометрии двигателей в VR опирается на высокоточные данные, но сокращение сроков проектирования без анализа рисков могло привести к неожиданным задержкам.	Проблемы интеграции и данных; Методология внедрения и измерения эффективности.
Синара – Транспортные машины, машиностроение	Анализ эргономики локомотивов в VR подразумевает вызовы в валидации виртуальных прототипов, где пробелы в производственных показателях затрудняют оценку.	Методология внедрения и измерения эффективности.
АвтоВАЗ, автомобилестроение	75-80% краш-тестов в АвтоВАЗе в VR требует высокой аппаратной точности, и начальные расхождения с реальными результатами могли потребовать итераций для калибровки.	Технологические и аппаратные ограничения.
Стан, станкостроение	Удаленный ассистент экономит до 1 млн руб., но зависит от надежной связи, где вызовы в визуализации стандартов без ошибок могли возникать на старте.	Проблемы интеграции и данных.
Уралхим, производство минеральных удобрений	Сокращение обучения до 4-6 часов с контролем знаний до 88.5% подразумевает вызовы в электронном контроле для электромонтеров, особенно в валидации практических навыков.	Организационно-кадровые вызовы; Методология внедрения и измерения эффективности.
Росатом (Горнорудный дивизион, Хиагда), горнодобыча	Голосовые команды и ВКС в AR требуют интеграции с данными полигона, а пробелы в приемке цифровых образцов могли замедлить удаленные проверки.	Проблемы интеграции и данных; Методология внедрения и измерения эффективности.
Росатом (Машиностроительный дивизион), машиностроение	Обучение стропальщиков в VR сталкивается с вызовами в эргономике сборки, без четких метрик для оценки улучшений.	Методология внедрения и измерения эффективности.
Росатом (Топливный дивизион, МЗ), энергетика	Визуальная инспекция в AR сокращает время, но требует надежных данных для анализа, где цифровая валидация могла быть проблематичной.	Проблемы интеграции и данных.
Росатом (Электроэнергетический дивизион,	Дистанционная инспекция в VR сталкивается с вызовами в передаче действий для тестирования, а также в кадровом обучении для обратной связи.	Проблемы интеграции и данных; Организационно-кадровые вызовы.

Атомэнергомаш), энергетика		
Enel (Невинномысская ГРЭС), энергетика	Обучение подключению линий в AR/VR несет риски в дистанционной поддержке высоковольтных систем, где аппаратные ограничения могли повысить уязвимость.	Технологические и аппаратные ограничения.
РЖД, грузовые перевозки	Моделирование в VR для РЖД повышает усвояемость в 3 раза, но валидация тестов на 28.5% требует стандартизации, а процесс принятия технологий среди сотрудников не формализован.	Методология внедрения и измерения эффективности; Организационно-кадровые вызовы.
Трансмашхолдинг (ТМХ), производство подвижного состава	Цифровой двойник локомотива в ТМХ экономит на макетах, но оцифровка станков для перепланировки сталкивается с вызовами в данных и точности моделей, а также программирования поведения объектов.	Проблемы интеграции и данных.
ВIOCAD, производство медицинских препаратов	Сокращение адаптации сотрудников через VR подразумевает вызовы в контроле ошибок, без детальных метрик для оценки экономии на качестве.	Организационно-кадровые вызовы; Методология внедрения и измерения эффективности
Союз-М, текстильная индустрия	Совмещение 3D и AR в Союз-М для дизайна сокращает цикл, но ошибки в цветовых и пространственных совпадениях могли требовать доработок.	Методология внедрения и измерения эффективности
Wärtsilä, производство судовых двигателей (Финляндия)	3000 сценариев в VR сталкивается с вызовами в предиктивной аналитике AR для поломок, где точность предупреждений требует калибровки.	Технологические и аппаратные ограничения
Siemens AG, производство электроники (Германия)	AR для турбин сокращает время на 30%, но интеграция датчиков могла вызвать начальные сбои в данных.	Проблемы интеграции и данных; Методология внедрения и измерения эффективности
Siemens Gamesa, энергетика (США/Испания)	AR на высотных работах обеспечивает доступ к инструкциям, но работа с системой без ошибок требуют дополнительного обучения.	Организационно-кадровые вызовы
Heineken, производство напитков (Нидерланды)	Цифровой двойник линий в Heineken сталкивается с рисками в трансляции для удаленных экспертов, где задержки связи могли повлиять на качество.	Проблемы интеграции и данных
BMW, автомобилестроение (Германия)	VR в цикле конструирования BMW сокращает на 25%, но совместная работа команд требует интеграции инструментов.	Организационно-кадровые вызовы; Методология внедрения и

		измерения эффективности
Mercedes Benz, автомобилестроение (Германия)	VR-разработка в Mercedes Benz ускоряет на 30%, но без базовых метрик затруднено точное измерение стоимости.	Методология внедрения и измерения эффективности
Caterpillar, производство тяжелой техники (США)	AR для ремонта помогает преодолеть разрыв знаний, но вызовы в кадровом балансе между новичками и ветеранами остаются.	Организационно-кадровые вызовы
John Deere, производство сельхозтехники (США)	AR на смартфонах в John Deere улучшает понимание конструкции, но метрики для ремонта требуют долгосрочного трекинга.	Методология внедрения и измерения эффективности
Porsche, автомобилестроение (Германия)	AR-сканирование ускоряет на 40%, но мобильность коммуникаций сталкивается с вызовами в обмене данными на поле.	Проблемы интеграции и данных
McLaren, автомобилестроение (Англия)	VR-студия сокращает время на недели, но оценка инновационности без стандартов оставляет пробелы.	Методология внедрения и измерения эффективности
Ford Motors Company, автомобилестроение (США)	FIVE-технология Ford решает 95% запросов дистанционно, но вызовы в обучении технических специалистов для VR.	Организационно-кадровые вызовы
Drillmec, производство буровых установок (Италия)	AR в удаленных районах сокращает ремонт на 25%, но риски связи могли увеличить задержки.	Технологические и аппаратные ограничения
Volkswagen, автомобилестроение (Германия)	VR-проектирование сокращает на 20%, но навигация AR сталкивается с вызовами в визуализации зон.	Проблемы интеграции и данных
Boeing, аэрокосмическая индустрия (США)	AR для кабелей сокращает на 25%, но диагностика аномалий требует точных аппаратных сенсоров.	Технологические и аппаратные ограничения; Методология внедрения и измерения эффективности
Airbus, аэрокосмическая индустрия (США)	AR-сборка ускоряет на 35%, но экономия €10 млн на пилотах нуждается в детальной методологии.	Методология внедрения и измерения эффективности
Lockheed Martin, аэрокосмическая индустрия (США)	VR для F-35 сокращает производство до 45 мин, но визуализация за пределами физических барьеров требует доработки.	Технологические и аппаратные ограничения
Fiat Chrysler Automobiles, автомобилестроение (США/Италия)	AR-группа повышает на 38%, но сравнение с традиционными методами подразумевает вызовы в А/В-тестировании.	Методология внедрения и измерения эффективности

Ocean Infinity, производство оборудования (США)	Цифровой двойник в VR оптимизирует на 20%, но логистика производства сталкивается с вызовами в данных.	Проблемы интеграции и данных
Lego, производство пластмасс (Дания)	AR-инструкции дают 70% рост скорости проектирования, но для адаптации требуется кадровое обучение.	Организационно-кадровые вызовы
ACGO, производство сельхозтехники (США)	AR-сканирование ускоряет на 300%, но в малых сериях вызовы в сложности сборки.	Технологические и аппаратные ограничения
Australian Meat Processor Corporation, мясопереработка (Австралия)	VR-тренажеры оценивают охрану труда, но без метрик затруднено измерение.	Методология внедрения и измерения эффективности
PG&E, энергогенерация (США)	VR-монтаж ускоряет сборку на 34%, но риски травм в инспекции требуют усиления безопасности.	Организационно-кадровые вызовы
Vouygues Telecom, телеком (Франция)	AR для сетей актуализирует трубы, но сканирование сталкивается с вызовами в точности.	Проблемы интеграции и данных
General Electric (GE), энергетика (США)	VR-обучение сокращает до 20 мин, но моделирование опыта требует аппаратной реалистичности.	Технологические и аппаратные ограничения; Методология внедрения и измерения эффективности
GE Healthcare, производство медоборудования (США)	AR-помощник взаимодействует с 3D, но эффективность процедур нуждается в валидации.	Методология внедрения и измерения эффективности
PGE Polska Grupa Energetyczna, энергетика (Польша)	VR для ветряков снижает риски, но дистанционная проверка требует надежной связи.	Организационно-кадровые вызовы
ThyssenKrupp AG, производство лифтов (Германия)	AR-инструкции переводят 2D в 3D, но вызовы в документации для эргономики.	Проблемы интеграции и данных
HAAS, станкостроение (США)	AR-сборка сокращает на 30%, но контроль качества требует интеграции с отделами.	Технологические и аппаратные ограничения
Generix/Knapp, логистика (Франция/Австрия)	AR для WMS дает 15% рост, но штрих-коды сталкиваются с вызовами в данных.	Проблемы интеграции и данных

Amazon, логистика (США)	AR-визуализация в Amazon снижает подбор на 25%, но 3D-модели требуют аппаратных обновлений.	Технологические и аппаратные ограничения
Welsh Water, водоснабжение (Уэльс)	AR/VR для коммуникаций экономит 32 млн евро, но риск-менеджмент нуждается в методологии.	Методология внедрения и измерения эффективности