



Парфенова Дарья Александровна

**РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ОЦЕНКИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**5.2.3. Региональная и отраслевая экономика
(экономика промышленности)**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата экономических наук**

Москва – 2026

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель:

Бром Алла Ефимовна

доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Клочков Владислав Валерьевич

доктор экономических наук, заместитель генерального директора по стратегическому развитию ФГБУ «НИЦ “Институт имени Н.Е. Жуковского”»

Кисляков Алексей Николаевич

доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры информационных технологий РАНХиГС (г. Владимир)

Ведущая организация:

ФГАОУ ВО Московский государственный технологический университет «Станкин»

Защита состоится 8 июня 2026 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.331.21 на базе Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 7, ауд. 414ибм.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим выслать по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Телефон для справок 8 (499) 267-17-83.

Ученый секретарь

диссертационного совета, к.э.н., доцент

Н.А. Кашеварова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современная экономика претерпевает радикальные изменения ввиду обострения геополитической ситуации в мире. С одной стороны, возник комплекс барьеров, препятствующих развитию: санкции, отсутствие собственных технологий и разработок, характеризующееся низким уровнем технологического суверенитета; с другой стороны, началось возрождение российского производства. Поставленная перед российской промышленностью глобальная цель по достижению технологического лидерства и суверенитета начала реализовываться благодаря освоению новых технологий, преодолению технологических разрывов и сокращению технологической отсталости вследствие оказания государством мощной поддержки по инвестированию в промышленные производства по всей стране.

Следует подчеркнуть, что достижение технологического лидерства и суверенитета невозможно без внедрения и развития передовых технологий, в частности, цифровых критических и сквозных, потому что именно они составляют ядро концепций «Индустрия 4.0» – «Индустрия 6.0» и влияют на темп технологического развития страны, позволяя создавать современные цифровые производства.

Но чтобы эффективно планировать развитие отечественной технологической базы, определять вектор формирования и оказания государственной поддержки для сотен промышленных производителей, ряд из которых сможет дать наибольшую отдачу от инвестирования, необходимо в первую очередь оценивать текущий технологический уровень каждого конкретного предприятия, задействованного в процессе создания современной высокотехнологичной продукции.

При этом одной из ключевых проблем при оценке является существующая неоднородность уровня востребованности технологий на тысячах промышленных производств, предприятий и компаний в стратегически важных отраслях экономики. В том числе это вызвано кардинально отличающейся абсорбционной способностью предприятий, характеризующей возможность предприятия внедрять и развивать технологии на своем производстве.

Следует отметить, что на части предприятий уже успешно внедрены такие технологии, как цифровое прототипирование, роботизация, аддитивные технологии, новейшие композитные материалы, автоматизация производства, позволяющие изготавливать продукцию, отвечающую мировым требованиям по качеству.

Но в то же время существует ряд предприятий, которые до сих пор используют устаревшие технологии либо ввиду невозможности перехода на более современные аналоги из-за отсутствия ресурсов, либо из-за отсутствия видимых перспектив в контексте дальнейшей трансформации.

Кроме того, остается открытым вопрос инвестирования в развитие отечественной технологической базы на государственном уровне, потому что необходимо не только оценивать текущее состояние востребованности технологий, но и прогнозировать, какая возможна потенциальная отдача от внедрения

критических и сквозных технологий с точки зрения влияния на ключевые экономические показатели. Потому что без этого затруднительно производить грамотное планирование, обеспечивающее экономическое развитие производственных предприятий в масштабах всей страны, особенно в разрезе ограниченности ресурсов, в первую очередь финансовых.

Таким образом, в свете вышеизложенного представляется актуальной разработка инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий.

Степень разработанности темы исследования. Теоретические и методологические основы исследуемой области были заложены в современных научных трудах отечественных и зарубежных ученых.

Значительную роль в развитии теории технологического развития сыграли труды С.Ю. Глазьева, В.В. Ключкова, А.И. Татаркина, Л.В. Стрелковой, С.В. Вагина, В.И. Куца, Т.Г. Попадюк, К. Перес, Ж. Тироля.

Методики оценки уровня технологического развития представлены в научных трудах О.С. Сухарева, Л. В. Стрелковой, С.С. Кабанова, Н.А. Дубровиной, М.В. Ивановой, В.С. Жарова, Х.Н. Гизатуллина, Дж. Гелбрейта, П. Друкера, Т. Куна, Б. Санто, Д. Сахала, О. Тофлера.

Исследования в области влияния технологий на развитие страны представлены в научных трудах таких ученых, как: Ю.В. Яковец, В.А. Русановского, Ф. Фукуяма, Й. Шумпетера, Г. Менша.

Вопрос достижения и измерения технологического лидерства и суверенитета рассматривался такими отечественными учеными, как: А.О. Безруковым, Д.Ю. Байдаровым, Д.Ю. Файковым, В.В. Глазуновой, О.С. Сухаревым, А.А. Афанасьевым.

Вопрос значимости реструктуризации в промышленности рассматривался отечественными учеными, такими как: Л.П. Белых, С. А. Никитиным, В.И. Мысаченко, А.С. Макаровым, Ю.С. Макарычевой.

Развитию концепции «Индустрия 4.0» на предприятиях и промышленной революции посвящены работы С.Ю. Глазьева, Н.Д. Кондратьева, Д.С. Львова, Ю.В. Яковца, С.В. Шкодинского, Е.Н. Горлачевой, В.А. Шиболденкова, А. Тойнби, Д. Тапскотта, Дж. Нейсбита.

Исследования в области развития цифровизации в промышленности представлены в научных трудах таких ученых, как: П.А. Дроговоза, А.Н. Кислякова, П.А. Михненко, Н.А. Кашеваровой, С.Г. Фалько, В.В. Акбердина, С.Г. Пьянкова, Г.В. Лепеша, В. А. Плотникова, И.А. Тищенко, Ю.С. Богачёва, С.Р. Бекулова, К. Шваба, П. Вайла, С. Ворнера, М. Скилтона.

Методики прогнозирования технологического развития рассматривались Н.И. Комковым, С.Ю. Ерошкиным, В.Н. Волковым, А.А. Денисовым, Г.М. Добровым, Дж. Мартиным, Ю.И. Черняком, Р. Эйресом, Э. Янчом.

Анализ существующих отечественных и зарубежных работ в области технологического развития показал необходимость разработки инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития

промышленных предприятий в условиях сформированной стратегии достижения технологического лидерства и суверенитета страны.

Цель и задачи исследования. Разработка инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий, обеспечивающих поддержку принятия решения по селекции и внедрению цифровых сквозных и критических технологий с учетом их влияния на ключевые экономические показатели деятельности промышленных предприятий.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие основные задачи:

- анализ существующих проблем и ограничений технологического развития промышленных предприятий в эпоху цифровизации.

- построение системы критериев для оценки востребованности базисных, критических и сквозных технологий.

- разработка инструментального метода оценки технологической вариативности на предприятиях на основе мультипликативной свертки.

- разработка инструментального метода оценки востребованности технологий в отраслях на основе статистических показателей диаграммы размаха.

- построение интеллектуальной прогнозной модели поддержки принятия решения селекции и внедрения цифровых технологий Индустрии 4.0 на предприятии на основе кластеризации и градиентного бустинга.

- апробация, внедрение и оценка экономического эффекта инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий.

Объектом исследования являются процессы технологического развития промышленного сектора экономики.

Предметом исследования являются методы и модели оценки и прогнозирования уровня технологического развития промышленных предприятий.

Методология и методы исследования. Теоретическую и методологическую основу исследования составили научные труды отечественных и зарубежных ученых в области развития отраслевой экономики. В качестве инструментов исследования в диссертации нашли применение методы теории вероятностей, мультипликативной свертки, инструменты машинного обучения на основе кластеризации и градиентного бустинга. Информационно-эмпирическую базу исследования составили действующие нормативные правовые акты, статистические и аналитические отчеты, доклады и обзоры международных и национальных организаций, институтов, данные, приведенные в научной печати, результаты научных исследований, представленные в виде авторефератов и диссертаций, материалы научно-практических конференций и семинаров.

Научная задача заключается в разработке инструментальных методов оценки текущей вариативности и востребованности технологий на предприятиях, а также модели на основе инструментов машинного обучения для прогнозирования экономического эффекта, обусловленного внедрением селективных цифровых критических и сквозных технологий.

Соответствие паспорту научной специальности. Область исследования соответствует пунктам 2.1. «Теоретико-методологические основы анализа проблем промышленного развития», 2.2. «Вопросы оценки и повышения эффективности хозяйственной деятельности на предприятиях и в отраслях промышленности», 2.4. «Закономерности функционирования и развития отраслей промышленности» паспорта специальности 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономика промышленности).

Научная новизна заключается в разработке инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий, отличающихся от существующих созданием единого инструментария по оценке текущего технологического уровня и интеллектуальному прогнозированию перспектив технологического развития. Разработанные инструменты включают в себя оценку технологической вариативности, востребованности технологий на предприятиях и прогнозную модель машинного обучения, которая, в отличие от статистических методов, позволяет выявлять сложные нелинейные закономерности в разнородных многомерных данных, что обеспечивает формирование перечня технологий для внедрения и расчет ожидаемого экономического эффекта.

Основные научные результаты, полученные в ходе исследования лично автором и выносимые на защиту, заключаются в следующем:

1. Разработана система критериев оценки востребованности классифицированных технологий (базисных, критических и сквозных), позволяющая произвести оценку текущего технологического состояния предприятий; в отличие от существующих, предложенная система дает возможность дифференцированно оценивать вклад каждой группы технологий в деятельность предприятий.

2. Разработан инструментальный метод оценки технологической вариативности для базисных, критических и сквозных технологий на основе мультипликативной свертки. В отличие от существующих, разработанный метод позволяет оценивать технологическое разнообразие на предприятиях как широту спектра использования различных технологий в производственных процессах, так и их абсорбционную способность в части применения на производствах различных групп технологий.

3. Разработан инструментальный метод оценки востребованности технологий в отраслях на основе статистических показателей диаграммы размаха; в отличие от существующих, метод дает возможность использовать медиану, верхний и нижний квантили, межквантильный размах для анализа востребованности технологий, выявления отраслевых трендов, аномалий и «технологических разрывов» между производствами, обусловленных неоднородностью абсорбционной способности предприятий.

4. Разработана интеллектуальная прогнозная модель, обеспечивающая поддержку принятия решения при селекции и внедрении цифровых технологий на предприятиях, на основе инструментов машинного обучения; проведенная кластеризация позволяет сформировать перечень технологий, оптимальных для

внедрения, а модель на основе градиентного бустинга прогнозирует экономический эффект от внедрения отобранных технологий. В отличие от существующих моделей, основанных на экспертных оценках или регрессионном анализе, предложенная модель использует методы машинного обучения, что повышает точность прогноза, учитывает нелинейные зависимости и позволяет персонализировать рекомендации для предприятий с различными характеристиками. Модель обеспечивает количественную оценку темпа роста прибыли, производительности труда, объема производимой продукции/услуг, уровня цифровизации после внедрения, операционных расходов.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в совершенствовании теоретических основ управления технологическим развитием промышленных производств за счет разработки инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в разработке и практической реализации инструментов оценки текущего технологического уровня и интеллектуального прогнозирования перспектив технологического развития на предприятии АО «Швабе» с учетом его абсорбционной способности и имеющегося опыта по внедрению и освоению новых цифровых технологий.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов диссертации обеспечивается применением методического аппарата, адекватного цели и основной задаче исследования, использованием автором в качестве теоретической и методологической основы результатов исследований отечественных и зарубежных ученых, положений российских законодательных и нормативных правовых актов. Достоверность результатов исследования подтверждается согласованностью получаемых на их основе выводов с практикой развития.

Апробация результатов исследования. Основные положения и выводы диссертации доложены и получили положительную оценку на международных и всероссийских научно-практических конференциях 20-ая Национальная научно-практическая конференция «Глобализация экономики и российские производственные предприятия». Новочеркасск, 2022; IV международная научно-практическая конференция «Эффективность организации и управления промышленными предприятиями: проблемы и пути решения». Воронеж, 2023; Conference Proceedings of the VI Interacademic conference for graduate students and young researchers: Science, engineering and business. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2024; «XLIX Академические чтения по космонавтике, посвящённые памяти академика С. П. Королёва и других выдающихся отечественных учёных — пионеров освоения космического пространства» («Королёвские чтения»). Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025; Национальная научно-практическая конференция «Неделя инженерной экономики в ЮРГПУ(НПИ) имени М. И. Платова». Новочеркасск, 2025.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ (авторский вклад – 4,04 п.л.), из них: 1 публикация, цитируемая в международной

базе Scopus (авторский вклад – 0,6 п.л.), 7 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (авторский вклад – 2,47 п.л.), из них по научной специальности 5.2.3 – 5 статей (авторский вклад – 1,77 п.л.).

Структура работы. Диссертация изложена на 191 странице и состоит из введения, трех глав с выводами по каждой из них, общих выводов по диссертационной работе, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 189 наименований, содержит 28 таблиц и 29 рисунков.

Рисунок 1 показывает логическую структуру диссертации, сформированную в соответствии с системным подходом и отражающую последовательность решения исследовательских задач.

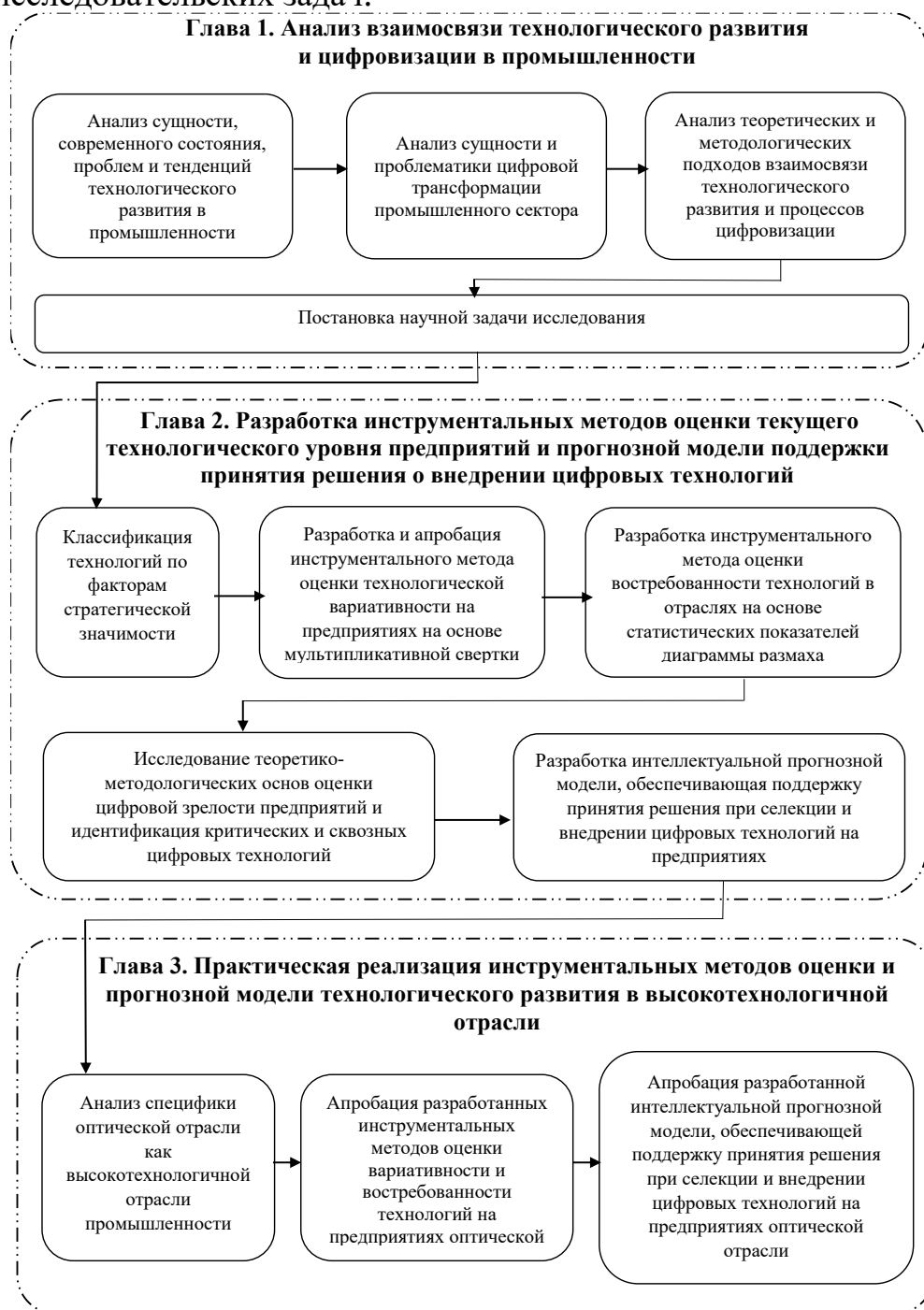


Рисунок 1 – Логическая структура диссертационного исследования

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Система критериев востребованности классифицированных технологий

На основе проведенного анализа взаимосвязи технологического развития и процессов цифровизации, а также правительственных документов в области достижения технологического лидерства, суверенитета и технологического развития в промышленности был констатирован факт недостаточности существующего деления технологий на критические и сквозные.

Представленная классификация ограничивает оценку текущего технологического состояния предприятий ввиду отсутствия учета устаревших технологий, которые также являются частью технологической обеспеченности предприятий промышленности.

В связи с этим была доработана существующая классификация технологий и добавлена еще одна группа: базисные. Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Классификация технологий по группам

Вид технологий	Группа технологий	Определение
Производственные технологии	Базисные	Технологии, которые в прошлом (либо совсем недавно) были известны на рынке. Они внедрены на большей части производств и не позволяют предприятиям достигать конкурентных преимуществ.
	Критические	Отраслевые технологии, критически необходимые для производства важнейших видов высокотехнологичной продукции и создания высокотехнологичных сервисов, имеющие системное значение для функционирования экономики, решения социально-экономических задач и обеспечения обороны страны и безопасности государства.
Информационные технологии	Сквозные	Перспективные технологии межотраслевого назначения, обеспечивающие создание инновационных продуктов и сервисов и оказывающие существенное влияние на развитие экономики, радикально меняя существующие рынки и (или) способствуя формированию новых.

Предложенная классификация технологий заложена в разработанную в диссертационном исследовании систему критериев оценки востребованности технологий на промышленных предприятиях.

Система критериев разработана с целью оценки текущего технологического состояния предприятий с учетом применения предприятиями различных групп технологий. Разработанная система критериев представлена в Таблице 2.

Таблица 2 – Система критериев оценки востребованности технологий

Базисные $1 \dots j_k$	Критические $j_{k+1} \dots j_s$	Сквозные $j_{s+1} \dots j_m$
Уровень производительности труда		
Уровень трудоемкости		
Уровень выработки		
Доля рабочих от общего состава, задействованных на j -й технологии		
Уровень фондоотдачи		
Уровень материалоемкости		
Срок окупаемости j -й технологии		
Уровень инновационности		
Уровень интенсивности использования оборудования		
Уровень импортозависимости технологии		
Уровень возникновения ошибки на предприятии		
Уровень воздействия на окружающую среду		
	Уровень влияния на производство высокотехнологичной продукции	
	Уровень объема требуемых инвестиций	
	Уровень завершенности	
		Уровень возможной интеграции
		Степень масштабируемости
		Уровень применимости в межотраслях

где i – предприятие, j – технология, m – количество технологий, разделенные на три группы:

- Базисными – $j = 1, 2, 3 \dots j_k$;
- Критическими – $j = j_{k+1}, j_{k+2} \dots j_s$;
- Сквозными – $j = j_{s+1}, j_{s+2} \dots j_m$.

Разработанная система критериев для классифицированных технологий включает в себя как общие критерии для всех групп технологий, так и уникальные критерии, позволяющие оценить вклад конкретной группы технологий в производство конечной продукции.

Научная новизна. Разработана система критериев оценки востребованности классифицированных технологий (базисных, критических и сквозных), позволяющая произвести оценку текущего технологического состояния предприятий; предложенная система дает возможность дифференцированно оценивать вклад каждой группы технологий в деятельность предприятий.

2. Инструментальный метод оценки технологической вариативности для базисных, критических и сквозных технологий на основе мультипликативной свертки

Разработанный в диссертации инструментальный метод оценки технологической вариативности на основе мультипликативной свертки позволяет определить абсорбционную способность предприятий для оценки потенциала в части внедрения и развития технологий на производствах, а также оценить уровень освоения исследуемых технологий в отрасли.

Ядром инструментального метода оценки технологической вариативности является матрица взаимосвязи технологии и предприятия (формула 1), элементами которой являются интегральные показатели, полученные на основе мультипликативной свертки качественных оценок по разработанной системе критериев.

В общем виде матрица взаимосвязи представляет собой прямоугольную матрицу размерности $n \times m$, где по строкам i идет перечень вариантов производства, а элемент строки характеризует меру освоения на i -ом предприятии j -ой технологии; а по столбцу варианты применения j -ой технологии на i -ом предприятии (в какой степени она задействована при выпуске основных видов продукции):

$$\begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1j} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ p_{i1} & \cdots & \cdots & p_{ij} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Элемент матрицы p_{ij} – степень взаимосвязи i -го предприятия с j -ой технологией. Каждый элемент матрицы p_{ij} может принимать значения от 0 до 1 в зависимости от степени взаимосвязи. Если p_{ij} принимает значение 0, то предприятие не использует j -ую технологию для выпуска продукции. Значение 1 означает, что степень взаимосвязи максимальна, то есть имеющееся технологическое оборудование полностью задействовано в производстве востребованных на рынке видов продукции.

Для получения значений степени взаимосвязи p_{ij} используется метод мультипликативной свертки (формула 2).

$$p_{ij} = \prod_{r=1}^R a_{rjm}^{\vartheta_{rjm}}, \quad (2)$$

где a_{rjm} – r -ый нормализованный критерий ($r \in [1, R]$) по технологии j_m ;

ϑ_{rjm} – вес r -го нормализованного критерия технологии j_m .

Вес r -го показателя оценки s -ого вида технологий считается по формуле 3.

$$\vartheta_{rjm} = \frac{b_{rjm}}{\sum_{r=1}^R b_{rjm}}, \quad (3)$$

где b_{rjm} – балльная оценка r -го критерия m -ой технологии.

Представленная матрица взаимосвязи отражает технологическое разнообразие в отрасли и уровень освоения технологии в среднем по отрасли:

Среднее по строкам $\langle p_i \rangle$ – технологическое разнообразие на i -ом предприятии. Технологическое разнообразие – это широта спектра использования исследуемых технологий или технологическая вариативность, позволяющая определить, какое

количество и в какой степени в производственных процессах задействованы технологии от традиционных (базисных) до инновационных (сквозных). Характеризует абсорбционную способность предприятия.

Среднее по столбцам $\langle p_j \rangle$ – уровень освоения j -й технологии. Уровень освоения – это глубина использования исследуемых технологий. Характеризует зависимость предприятий от технологий в промышленности.

Научная новизна. Разработан инструментальный метод оценки технологической вариативности для базисных, критических и сквозных технологий на основе мультипликативной свертки. В отличие от существующих, разработанный метод позволяет оценивать технологическое разнообразие на предприятиях как широту спектра использования различных технологий в производственных процессах, так и их абсорбционную способность в части применения на производствах различных групп технологий.

3. Инструментальный метод оценки востребованности технологий в отраслях на основе статистических показателей диаграммы размаха

Полученные интегральные показатели степеней взаимосвязи технологий и предприятий необходимо интерпретировать для определения уровня востребованности технологий, в первую очередь критических и сквозных. С этой целью был разработан инструментальный метод оценки востребованности технологий в отраслях на основе статистических показателей диаграммы размаха (медианы, верхнего и нижнего квантилей, межквантильного размаха).

Интерпретация статистических показателей диаграммы размаха представлена на Рисунке 2.

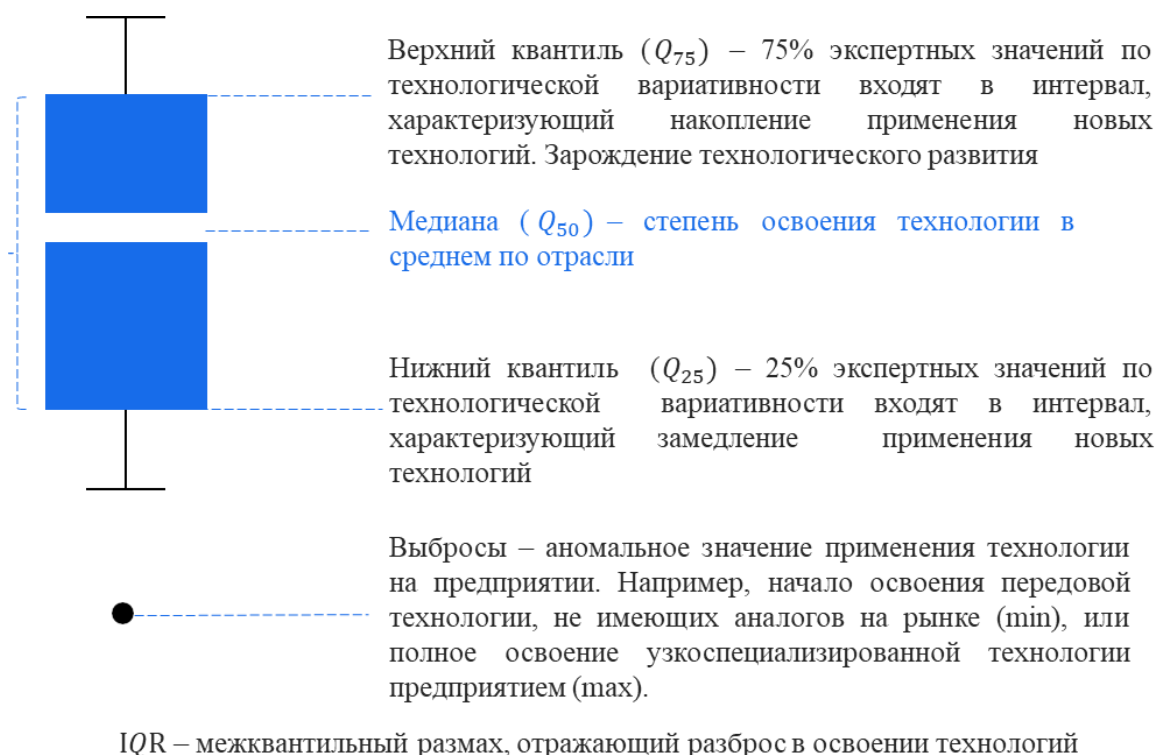


Рисунок 2 – Интерпретация статистических показателей диаграммы размаха

Для анализа полученных статистических показателей диаграммы размаха определяются максимальная и минимальная медианы, а также максимальный и минимальный межквантильный размах из всей полученной выборки. Таким образом, инструментальный метод оценки востребованности технологий в отраслях в результате позволяет:

- сделать вывод о наличии «технологических разрывов»;
- сделать вывод о востребованности критических и сквозных технологий в отраслях.

Научная новизна. Разработан инструментальный метод оценки востребованности технологий в отраслях на основе статистических показателей диаграммы размаха; в отличие от существующих, метод дает возможность использовать медиану, верхний и нижний квантили, межквантильный размах для анализа востребованности технологий, выявления отраслевых трендов, аномалий и «технологических разрывов» между производствами, обусловленных неоднородностью абсорбционной способности предприятий.

4. Интеллектуальная прогнозная модель, обеспечивающая поддержку принятия решения при селекции и внедрении цифровых технологий на предприятии, на основе инструментов машинного обучения

Результат проведенной оценки текущего уровня технологического развития на предприятиях применяется для обоснования целевой ресурсной поддержки промышленным производствам для повышения уровня освоения цифровых критических и сквозных технологий. При этом необходима селекция конкретных передовых технологий для внедрения, которые обеспечат максимальный совокупный экономический эффект на промышленных предприятиях с учетом их специфики. Выбор технологий и прогнозирование экономического эффекта от их внедрения в диссертационном исследовании осуществляются с применением разработанной интеллектуальной прогнозной модели, обеспечивающей поддержку принятия решения при селекции и внедрении цифровых технологий на предприятии, на основе инструментов машинного обучения.

Оценка экономического эффекта от внедрения цифровых технологий на предприятиях производится на основе сравнения таких показателей, как:

- Срок окупаемости технологии;
- Темп роста прибыли, %;
- Производительность труда, %;
- Операционные расходы, %;
- Объем производимой продукции/услуг, %;
- Уровень цифровизации до и после внедрения, %.

Для получения прогнозных значений указанных экономических показателей после внедрения цифровых технологий применяются инструменты машинного обучения: кластеризация и градиентный бустинг.

Первым шагом разработки модели является сбор входных данных. В качестве входных данных для кластеризации используются две группы показателей.

1. Данные о компании: отрасль; год основания; численность сотрудников; численность сотрудников из сферы ИТ; уровень цифровой зрелости компании; выручка.

2. Данные о внедренной технологии: наименование; стоимость внедрения; срок внедрения; срок окупаемости; темп роста прибыли, %; улучшение производительности труда, %; коэффициент операционных расходов, %; увеличение объема производимой продукции/услуг, %; рост уровня цифровизации после внедрения, %; оценка востребованности каждой технологии по разработанным критериям,

Визуальное отображение перечисленных данных представлено с помощью метода «Диаграмма с параллельными координатами» на Рисунке 3.

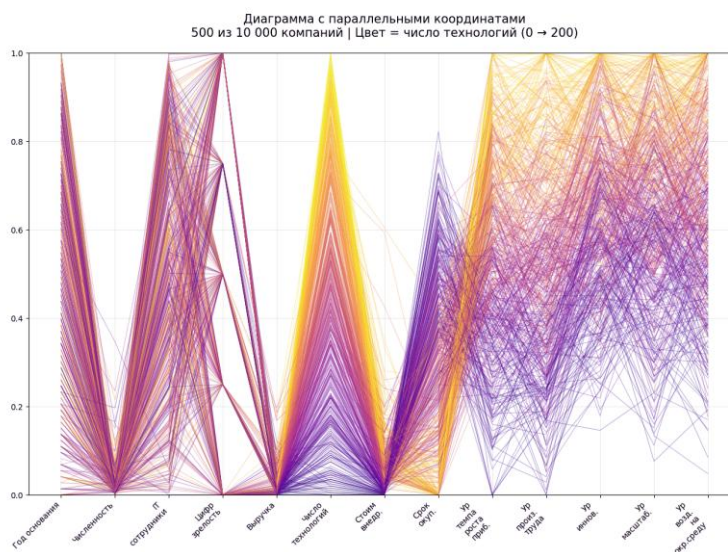


Рисунок 3 – Визуализация многомерных данных

Вторым шагом является применение метода основных компонент (РСА) для линейного преобразования исходных данных с целью поиска низкоразмерного линейного подпространства. Визуальное отображение метода представлено на Рисунке 4.

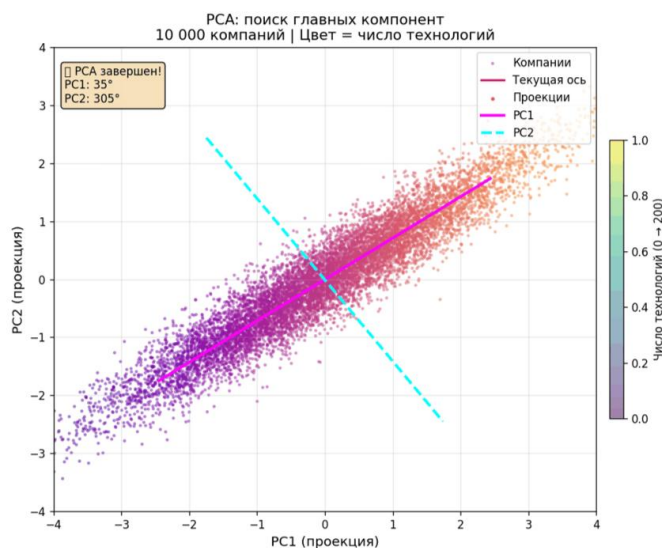


Рисунок 4 – Визуализация метода основных компонент (РСА)

В результате применения метода были получены две компоненты PCA1 и PCA2, объясняющие 70% и 15% дисперсии (наименования и признаки которых представлены в Таблице 3).

Таблица 3 – Признаки основных компонент

Основной компонент	Признаки
PCA1 (экономический масштаб предприятия)	Выручка, объем требуемых инвестиций, численность сотрудников, доля ВВП в секторе экономики, доля на международном рынке, производительность труда, фондоотдача.
PCA2 (глубина технологической адаптации)	Уровень цифровой зрелости, численность сотрудников из сферы ИТ, импортные/отечественные технологии, степень интенсивности использования оборудования, степень возникновения ошибки на предприятии, уровень материалоёмкости, уровень трудоемкости.

На третьем шаге была проведена кластеризация на основании двух главных компонент по методу k-means. В результате было выделено 8 кластеров, представленных на Рисунке 5. Полученные кластеры в диссертационном исследовании было предложено характеризовать следующим образом: 1 – Малые традиционные предприятия; 2 – Предприятия гиганты с устаревшей инфраструктурой; 3 – Развивающиеся предприятия среднего звена; 4 – Технологичные предприятия среднего звена; 5 – Крупные консервативные гиганты; 6 – Зрелые крупные предприятия; 7 – Инновационно-активные предприятия; 8 – Цифровые лидеры рынка.

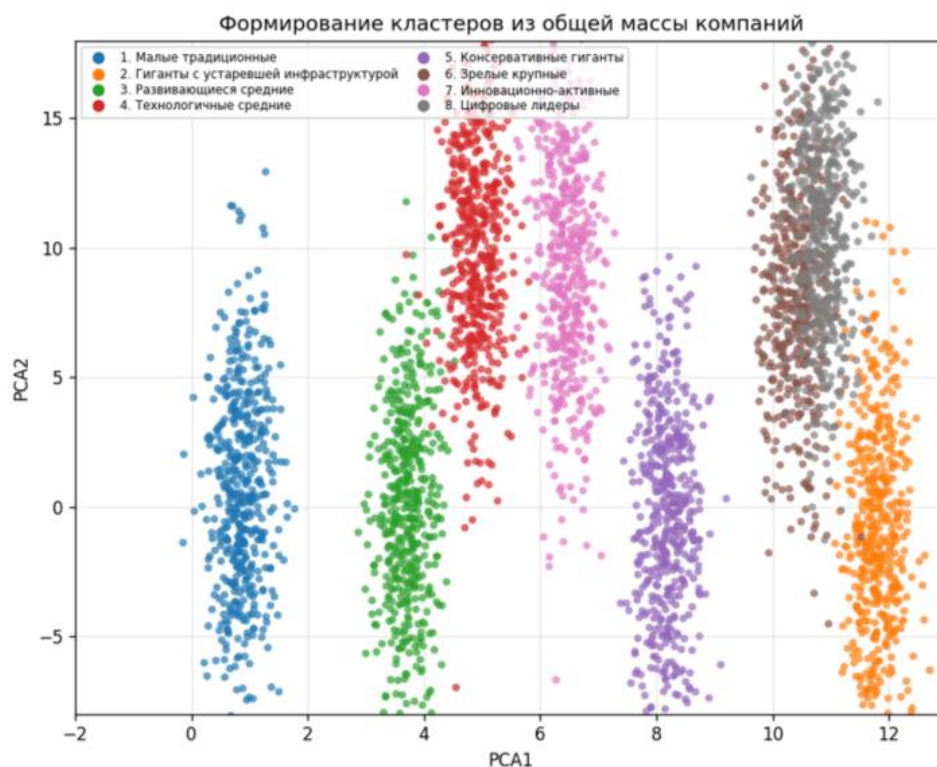


Рисунок 5 – Кластеризация на основе метода k-means

Выделенные кластеры имеют значительные отличия по экономическому масштабу, при этом глубина технологической адаптации на предприятиях с разным экономическим масштабом может быть схожей. Применение кластеризации позволяет сгруппировать компании со схожими параметрами в кластеры, чтобы на основании этих данных производить селекцию технологий.

Четвертым шагом является применение градиентного бустинга по алгоритму GradientBoostingRegressor. С помощью полученных кластеров отбираются цифровые технологии из сформированного перечня для внедрения и рассчитываются прогнозные значения выделенных экономических показателей для оценки экономического эффекта.

Результатом работы интеллектуальной прогнозной модели являются: оптимальная технология для внедрения, прогнозные значения экономических показателей, а также проранжированные показатели, оказывающие наибольшее влияние на селекцию технологий, первые 10 из которых представлены на Рисунке 6.

Важно отметить, что для применения модели градиентного бустинга необходимо определить целевую переменную – количественный или категориальный показатель, значение которого прогнозируется по совокупности признаков. В диссертационном исследовании целевой переменной являлся темп роста прибыли, однако в зависимости от целей прогноза могут быть выбраны иные показатели.

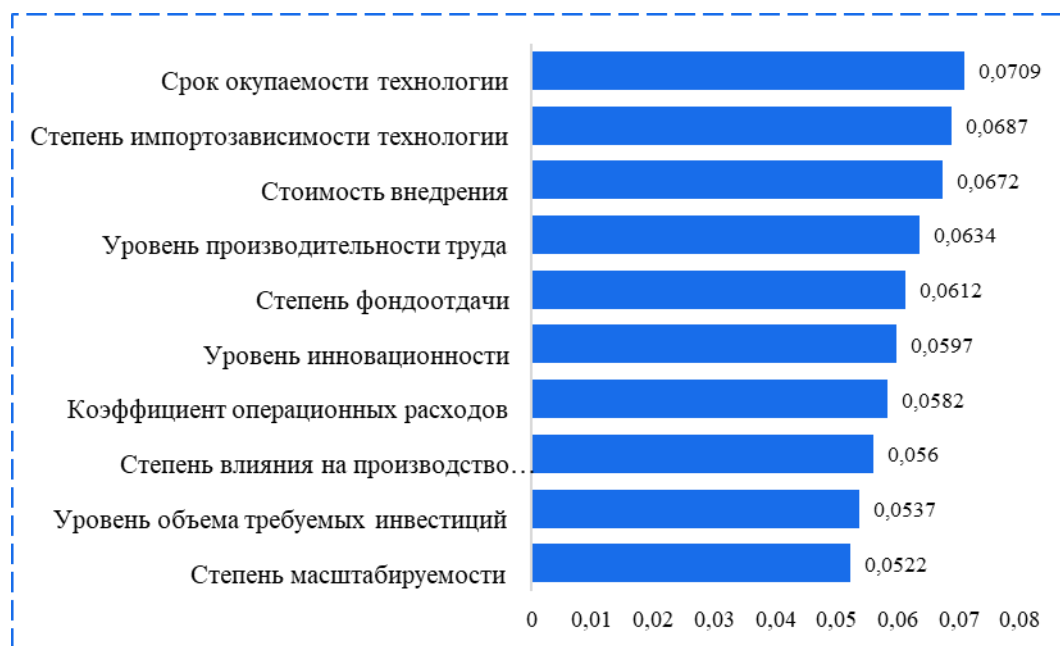


Рисунок 6 – 10 показателей, оказывающих наибольшее влияние на селекцию технологий

Научная новизна. Разработана интеллектуальная прогнозная модель, обеспечивающая поддержку принятия решения при селекции и внедрении цифровых технологий на предприятиях, на основе инструментов машинного обучения; проведенная кластеризация позволяет сформировать перечень технологий, оптимальных для внедрения, а модель на основе градиентного бустинга прогнозирует

экономический эффект от внедрения отобранных технологий. В отличие от существующих моделей, основанных на экспертных оценках или регрессионном анализе, предложенная модель использует методы машинного обучения, что повышает точность прогноза, учитывает нелинейные зависимости и позволяет персонализировать рекомендации для предприятий с различными характеристиками. Модель обеспечивает количественную оценку темпа роста прибыли, производительности труда, объема производимой продукции/услуг, уровня цифровизации после внедрения, операционных расходов.

Результаты практической реализации и оценки экономического эффекта разработанных инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий

Апробация инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий выполнена в холдинге АО «Швабе». АО «Швабе» — российская холдинговая компания, входящая в госкорпорацию «Ростех». Специализируется на разработке и производстве оптических и оптико-электронных систем как для военных, так и для гражданских нужд.

Реализация разработанных инструментов проводится на предприятиях, выпускающих высокотехнологичную продукцию, имеющих стратегическую приоритетность для государства. В связи с этим в первую очередь необходимо оценить текущий уровень технологической вариативности в оптической отрасли среди предприятий холдинга для получения объективного представления о широте спектра использования базисных, сквозных и критических технологий (Таблица 4), а также об абсорбционной способности предприятий.

Таблица 4 – Классификация технологии в оптической отрасли

Базисные	Критические	Сквозные
j_1 – Связь общего назначения (телефония, офисные сети)	j_5 – Системы компьютерного моделирования отечественного базирования (LVMFlowCV)	j_9 – Цифровые платформы управления жизненным циклом изделия (PLM)
j_2 – Управление персоналом и документооборот (СЭД)	j_6 – Технология OCD – скаттерометрии (оптическая метрология критических размеров)	j_{10} – Аддитивное производство (производство линз)
j_3 – Корпоративная почта	j_7 – Квантовые алгоритмы комбинаторной оптимизации (QAOA, VQE)	j_{11} – Интегрированные цифровые технологии управления (ERP, CRM, BI)
j_4 – Сетевая инфраструктура	j_8 – Отечественные композитные материалы	j_{12} – Искусственный интеллект и машинное обучение
		j_{13} – Технологии виртуальной и дополненной реальностей (AR/VR)

Результат применения инструментального метода оценки технологической вариативности на предприятиях холдинга АО «Швабе» на основе метода мультипликативной свертки представлен в Таблице 5. Строки таблицы соответствуют

исследуемым предприятиям, а столбцы исследуемым цифровым технологиям в рамках оптической отрасли.

Полученные значения в таблице отражают степень взаимосвязи i -го предприятия с j -ой технологией.

Таблица 5 – Результат применения инструментального метода оценки технологической вариативности

Предприятия	Связь с СЭД	Корпоративные СИ	СКМ	OCD	Квантовые	Композитные	PLM	Аддитивные	ИИ/ТУ	AI и ML	AR/VR	$\langle p_i \rangle$		
Вологодский оптико-механический завод (ВОМЗ)	0,96	0,94	0,92	0,97	0,94	0,96	0,29	0,07	0,64	0,74	0,90	0,22	0,05	0,66
Загорский оптико-механический завод	0,92	0,93	0,86	0,96	0,67	0,60	0,13	0,26	0,14	0,29	0,78	0,04	0,21	0,52
Красногорский завод имени С. А. Зверева	0,95	0,97	0,93	0,96	0,89	0,60	0,00	0,42	0,26	0,13	0,47	0,00	0,34	0,53
Лыткаринский завод оптического стекла	0,86	0,89	0,86	0,85	0,89	0,45	0,38	0,38	0,31	0,03	0,70	0,24	0,17	0,54
Уральский оптико-механический завод (УОМЗ)	0,90	0,89	0,89	0,90	0,87	0,79	0,45	0,49	0,78	0,74	0,87	0,10	0,33	0,69
«Швабе - Оборона и Защита»	0,95	0,92	0,90	0,89	0,65	0,61	0,09	0,31	0,15	0,44	0,31	0,08	0,32	0,51
Казанское Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики»	0,96	0,89	0,98	0,85	0,80	0,58	0,27	0,23	0,19	0,10	0,48	0,37	0,36	0,54
НПО «Орион»	0,91	0,93	0,87	0,93	0,66	0,47	0,26	0,12	0,29	0,06	0,69	0,24	0,36	0,52
Центральное конструкторское бюро оптико-электронного приборостроения «Фотон»	0,96	0,86	0,97	0,85	0,86	0,45	0,16	0,03	0,41	0,31	0,42	0,03	0,30	0,51
$\langle p_i \rangle$	0,93	0,91	0,91	0,91	0,80	0,61	0,23	0,26	0,35	0,31	0,63	0,15	0,27	

В результате применения разработанного инструментального метода технологической вариативности была установлена численная широта спектра применения технологий на предприятиях в среднем по отрасли, а также получена оценка абсорбционной способности предприятий. Анализ результатов показывает, что наименее задействованные в отрасли технологии: квантовые алгоритмы комбинаторной оптимизации (QAOA, VQE) ($\langle p_7 \rangle = 0,23$), отечественные композитные материалы ($\langle p_8 \rangle = 0,26$), цифровые платформы управления жизненным циклом изделия (PLM), аддитивное производство, искусственный интеллект и машинное обучение и технологии виртуальной и дополненной реальностей (AR/VR) ($\langle p_j \rangle = 0,27 < 0,4$ у перечисленных сквозных технологий). Технологии, наиболее активно применяющиеся в отрасли, относятся к базисным (показатели более 0,9).

Наибольшей абсорбционной способностью обладают предприятия Вологодский оптико-механический завод (ВОМЗ) и Уральский оптико-механический завод (УОМЗ), у которых $\langle p_i \rangle > 0,6$.

При этом необходимо также оценить уровень востребованности технологий для оценки степени их внедрения и освоения в отрасли. Для этого в диссертационной работе был разработан инструментальный метод оценки востребованности технологий в отраслях на основе статистических показателей диаграммы размаха

Результаты применения разработанного инструментального метода представлены на Рисунке 7.

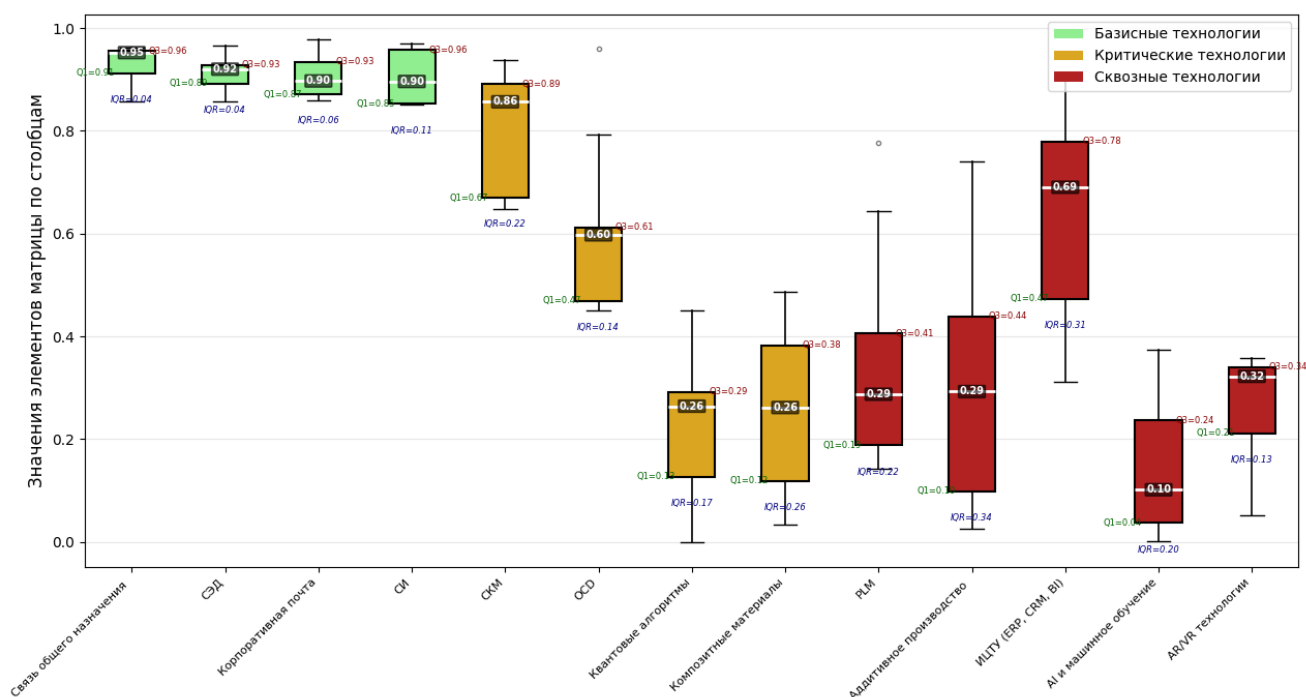


Рисунок 7 – Диаграмма размаха для холдинга АО «Швабе»

На основании результатов применения инструментального метода можно сделать следующие выводы:

- Все базисные технологии имеют высокую востребованность (медиана более 0,9). Критическая технология j_5 Системы компьютерного моделирования отечественного базирования (LVMFlowCV) востребована в отрасли (медиана более 0,8, при этом IQR менее 0,3);
- Критические технологии j_7 Квантовые алгоритмы комбинаторной оптимизации (QAOA, VQE) и j_8 Отечественные композитные материалы мало востребованы (медиана менее 0,3) и слабо освоены в отрасли ($Q_{75} < 0,5$);
- Наиболее востребованная сквозная технология j_{11} Интегрированные цифровые технологии управления (ERP, CRM, BI) (медиана более 0,6), при этом остальные сквозные технологии имеют низкую востребованность;
- Приоритетное внедрение и развитие технологий j_7 – Квантовые алгоритмы комбинаторной оптимизации (QAOA, VQE), j_8 – Отечественные композитные материалы, j_9 – Цифровые платформы управления жизненным циклом изделия (PLM), j_{10} – Аддитивное производство (производство линз), j_{12} – Искусственный интеллект и машинное обучение, j_{13} – Технологии виртуальной и дополненной реальности (AR/VR).

В результате применения разработанных в диссертационном исследовании инструментальных методов были выявлены конкретные сквозные и критические технологии, которые необходимо внедрять для повышения уровня технологического развития.

В связи с этим была применена разработанная интеллектуальная прогнозная модель, обеспечивающая поддержку принятия решения при селекции и внедрении цифровых технологий на предприятиях.

В результате применения кластеризации холдинг был отнесен к кластеру 6: «Зрелые крупные предприятия», что позволило выделить ряд цифровых технологий (цифровые платформы управления жизненным циклом (PLM), искусственный интеллект и машинное обучение (проектирование, контроль качества, оптимизация параметров изделия, диагностика оборудования), аддитивное производство, отечественные композитные материалы, системы управления энергоресурсами), имеющих наибольший экономический эффект при внедрении в рамках данной группы компаний.

Модель градиентного бустинга позволила определить оптимальную технологию для внедрения: искусственный интеллект и машинное обучение, а также спрогнозировать экономический эффект по ранее отобранным показателям. Результаты интеллектуального прогнозирования представлены на Рисунках 8–11.

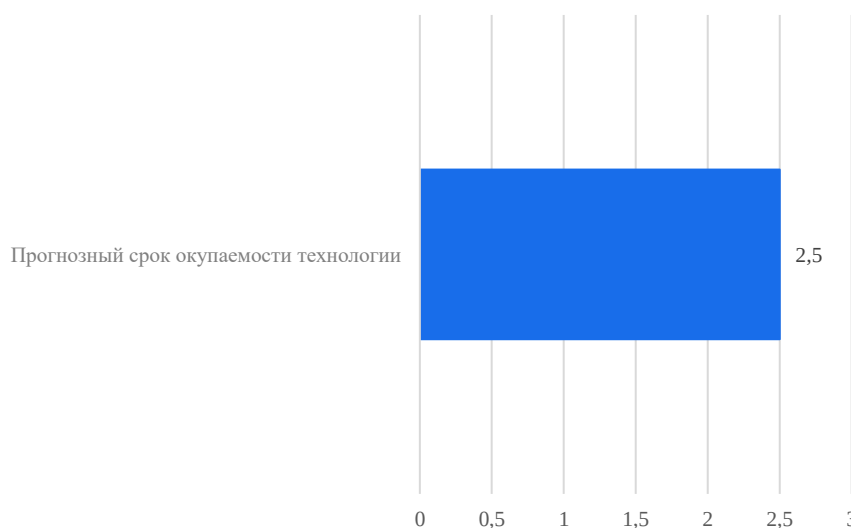


Рисунок 8 – Прогнозный срок окупаемости технологии

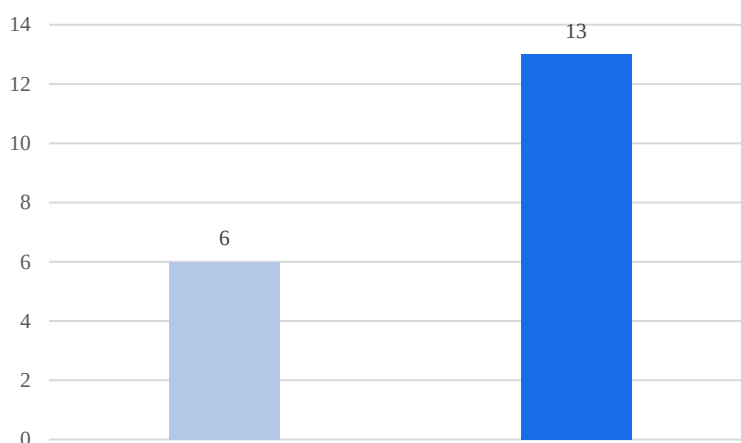


Рисунок 9 – Темп роста прибыли до и после внедрения, %

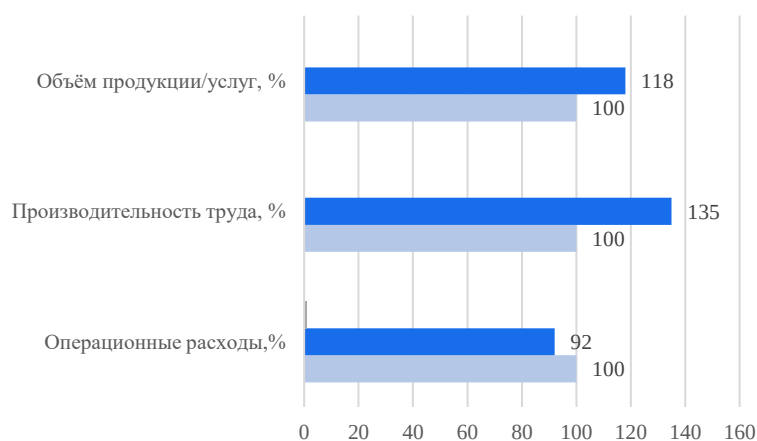


Рисунок 10 – Сравнение части экономических показателей до и после внедрения

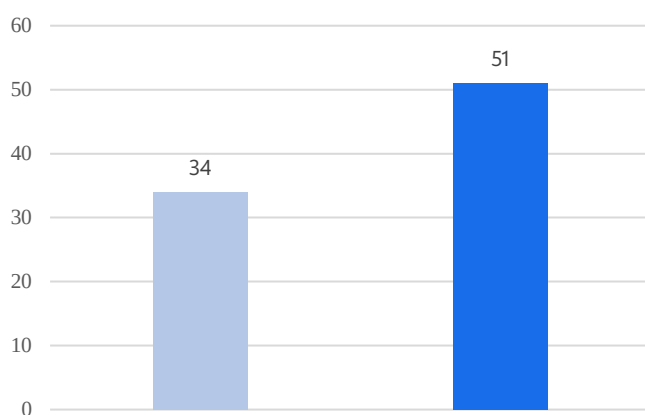


Рисунок 11 – Уровень цифровизации до и после внедрения, %

Применение разработанных в диссертационном исследовании инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий позволит произвести оценку технологической вариативности, востребованности технологий, разброса в освоении цифровых критических и сквозных технологий для принятия решения о необходимости обеспечения ресурсами предприятий с целью повышения уровня освоения критических и сквозных технологий. Разработанные инструменты позволяют оценить текущий уровень технологического развития и обеспечить его дальнейший рост с целью достижения технологического лидерства и суверенитета страны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результатом анализа существующих проблем и ограничений технологического развития промышленных предприятий в эпоху цифровизации является формирование вывода об отсутствии единого инструментария, позволяющего оценивать текущий уровень технологического развития и прогнозировать динамику экономических показателей при внедрении и освоении селективных технологий.

2. Разработанная в диссертационной работе система критериев оценки востребованности классифицированных технологий (базисных, критических и

сквозных) позволила произвести оценку текущего технологического состояния предприятий. Созданная система критериев легла в основу разработанного инструментального метода оценки технологической вариативности на предприятиях.

3. Разработанный в диссертационной работе инструментальный метод оценки технологической вариативности на предприятиях на основе мультипликативной свертки позволил оценить технологическое разнообразие на предприятиях и их абсорбционную способность в части применения на производствах различных групп технологий.

4. Разработанный инструментальный метод оценки востребованности технологий в отраслях на основе статистических показателей диаграммы размаха позволил проанализировать востребованность классифицированных технологий, выявить отраслевые тренды, аномалии и «технологические разрывы» между производствами, обусловленные неоднородностью абсорбционной способности предприятий.

5. Разработанная в диссертационной работе интеллектуальная прогнозная модель на основе кластеризации и градиентного бустинга позволила на основе оцененной абсорбционной способности предприятия провести селекцию цифровых сквозных и критических технологий с учетом их влияния на ключевые экономические показатели деятельности промышленных предприятий. В результате при масштабировании и следовании рекомендациям модели на всех предприятиях, где уровень освоения цифровых технологий невысок, будет ускорен процесс технологического развития.

6. Апробация разработанных инструментов на предприятии АО «Швабе» позволила выявить слабое развитие сквозных технологий в целом по ракетно-космической отрасли, а также получить рекомендации по внедрению ряда технологий, призванных обеспечить рост экономических показателей: темпа роста прибыли, производительности труда, объема производимой продукции/услуг, уровня цифровизации. По результатам работы прогнозной модели на предприятии была внедрена цифровая технология: искусственный интеллект и машинное обучение (проектирование, контроль качества, оптимизация параметров изделия, диагностика оборудования). В результате внедрения темп роста прибыли увеличился на 7%, производительность на 35%, операционные расходы сократились на 8%, объем произведенной продукции увеличился на 18%, уровень цифровизации на 17%. При этом прогнозные значения отклонялись от фактических в диапазоне от 0 до 2%.

7. Результаты разработки инструментов оценки и интеллектуального прогнозирования технологического развития промышленных предприятий позволяют сделать заключение, что поставленная научная задача решена, а цель диссертации достигнута.

Направлениями дальнейших исследований по проблематике диссертации являются вопросы формирования и ускорения структурных сдвигов в промышленности при достижении определенного уровня технологического развития за счет освоения технологий «Индустрии 5.0» – «Индустрия 6.0».

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи в рецензируемых изданиях международной базы цитирования Scopus

1. Parfenova D.A. Building Technological Partnership in New Conditions. // 7th 2025 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2025. DOI 10.1109/REEPE63962.2025.10970956 (0.6 п.л.)

Научные статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по научной специальности 5.2.3

2. Парфенова Д.А. Влияние технологического развития на формирование структурных сдвигов в экономике // Наука и бизнес: пути развития. 2025. № 10 (172). С. 78-87. (0.42 п.л.)

3. Парфенова Д.А., Бром А.Е. К проблеме оценки использования и востребованности критических и сквозных технологий в промышленности // Друкеровский вестник. 2025. № 4 (66). С. 30-41. (0.51 п.л./0.4 п.л.)

4. Парфенова Д.А., Бром А.Е. К вопросу оценки технологической вариативности // Региональная экономика: теория и практика. 2025. Т.23. №7. С. 162-176. (0.5 п.л./0.4 п.л.)

5. Парфенова Д.А., Бром А.Е. Программа импортозамещения: распределение финансирования между предприятиями // Компетентность. 2024. № 7. С. 26-31. (0.4 п.л./0.3 п.л.)

6. Сафонова Д.А., Моисеенко А.М., Бром А.Е. Оптимизация производственной программы в условиях импортозамещения // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. № 4 (49). С. 573 – 582. (0.35 п.л./0.25 п.л.)

Научные статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России

7. Сафонова Д.А., Сафонов С.В., Смирнов А.В., Назаров А.А. Основные проблемы уменьшения срока эксплуатации изделий // Экономика и предпринимательство. 2020. № 11 (124). С. 1068 – 1071. (0.5 п.л./0.35 п.л.)

8. Корягин К.И., Сафонова Д.А., Сафонов С.В. Расчет наиболее оптимального выбора парка АТП // Экономика и предпринимательство. 2020. № 12 (125). С. 1367 – 1370. (0.45 п.л./0.35 п.л.)

Научные статьи и тезисы докладов в сборниках трудов международных и всероссийских конференций

9. Парфенова Д.А. Формирование структурных сдвигов в промышленности – основа перехода к Индустрии 6.0. // Национальная научно-практическая конференция: Неделя инженерной экономики в ЮРГПУ(НПИ), 2025. С. 135-140. (0.27 п.л.)

10. Парфенова Д.А. Новый подход к организации цепей поставок на примере ракетостроительной отрасли // Конференция: Королёвские чтения. XLIX Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академик С. П. Королёва и других

выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства, 2025. С.303-305. (0.14 п.л.)

11. Parfenova D.A. A business selection tool for creating supply chains. // Science, engineering and business: Conference Proceedings of the VI Interacademic conference for graduate students and young researchers, 2024. pp. 365-369. (0.23 п.л.)

12. Парфенова Д.А. Организационные проблемы российской экономики в санкционных условиях // Эффективность организации и управления промышленными предприятиями: проблемы и пути решения: материалы IV Международной научно-практической конференции. Воронежский государственный технический университет, 2023. С. 128-132. (0.23 п.л.)

13. Сафонова Д.А., Моисеенко А.М. К вопросу моделирования цепей поставок в РФ в условиях реализации импортозамещения // Глобализация экономики и российские производственные предприятия: материалы 20-й Национальной научно-практической конференции, 2022. С. 163-166. (0.23 п.л./0.1 п.л.)