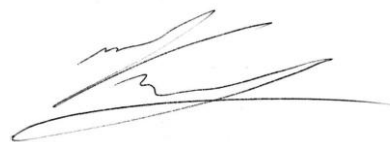


ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет»

На правах рукописи



КОЗЛОВ ЯРОСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата экономических наук

5.2.6. Менеджмент

Научный руководитель:

доктор экономических наук,
профессор

Митяков Евгений Сергеевич

Москва – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ	12
1.1. Управление производственными системами: отечественный и зарубежный опыт	12
1.2. Системы искусственного интеллекта в управлении производственными системами.....	23
1.3. Обоснование необходимости совершенствования подходов к управлению производственными системами в условиях цифровой трансформации	36
Выводы по главе 1.....	50
ГЛАВА 2. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	52
2.1. Концептуальная модель управления производственными системами в условиях цифровой трансформации	52
2.2. Классификация систем искусственного интеллекта в задачах управления производственными системами.....	59
2.3. Процедура управления производственными системами с использованием искусственного интеллекта	67
Выводы по главе 2.....	72
ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИАГНОСТИКИ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ.....	74

3.1. Модель диагностики производственных систем с использованием искусственного интеллекта	74
3.2. Методика комплексной оценки эффективности управления производственными системами	80
3.3. Рекомендации по совершенствованию подходов к управлению производственными системами	111
Выводы по главе 3	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Индикаторы использования цифровых технологий, отдельных информационных технологий и специальных программных средств	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Вектор трансформации управленческих подходов в производственной сфере России в значительной степени определяется национальным проектом «Цифровая экономика» и федеральным проектом «Искусственный интеллект», которые задают направления для развития цифровых производств и интеграции передовых технологий искусственного интеллекта в экономику и управление. Современные производственные системы сталкиваются с новыми вызовами, связанными с цифровой трансформацией и необходимостью повышения эффективности управления в условиях глобальной конкуренции. Внедрение технологий искусственного интеллекта становится неотъемлемой частью этого процесса, обеспечивая автоматизацию, обработку данных и принятие решений в реальном времени.

Современные подходы к управлению производственными системами часто не соответствуют требованиям постоянно возрастающей сложности и динамичности производственных процессов. Интеграция инновационных технологий — таких, как искусственный интеллект — становится ключевым фактором для оптимизации управленческой деятельности. Эти технологии способствуют снижению затрат, повышению качества продукции и укреплению конкурентоспособности на рынке.

Таким образом, в настоящее время существует острая потребность в разработке новых моделей управления, адаптированных к условиям цифровой трансформации, а также в создании процедур, обеспечивающих непрерывное и адаптивное управление с использованием систем искусственного интеллекта. Одной из важных задач также является разработка методов оценки эффективности управления и диагностики производственных систем, что позволит повысить устойчивость и гибкость их функционирования.

В связи с вышеизложенным в настоящее время существует настоятельная необходимость в разработке новых моделей управления, адаптированных к условиям цифровой трансформации. Создание процедур, обеспечивающих непрерывное и адаптивное управление с использованием искусственного интеллекта — а также методов оценки эффективности управления и диагностики производственных систем — становится важным шагом к повышению их устойчивости и гибкости функционирования. Таким образом, данное исследование направлено на заполнение существующего пробела в научной литературе и практическом управлении, что подтверждает его актуальность.

Степень разработанности темы диссертации. В последнее время в специализированной научной литературе наблюдается стабильное увеличение интереса к проблемам управления производственными системами. Вопросы улучшения методологических основ управления такими системами освещены в исследованиях

Методологические основы управления производственными системами освещены в работах Л. И. Абалкина, А. Г. Аганбегяна, Р. Акоффа, А. И. Балашова, А. А. Богданова, М. А. Вайкока, Дж. Вумека, А. П. Гарнова, А. К. Гастева, В. П. Кузнецова, Т. Оно, Г. Ф. Орентлихера, А. Смита, Р. Сури, Ф. Тейлора, Г. Форда, Г. Эмерсона и др.

Вопросам цифровизации экономических процессов посвящены труды В. В. Акбердиной, А. Г. Бездудной, А. А. Бурдиной, Н. Л. Володиной, А. В. Воронцовского, И. Г. Головцовой, И. Л. Гончарова, Л. М. Гохберга, И. Г. Ершовой, Е. Б. Ленчук, В. Л. Макарова, Е. А. Малышева, Н. Н. Ползуновой, Е. А. Пискун, С. Н. Сильвестрова, Ю. В. Трифонова, О. В. Трофимова, М. А. Эскиндарова, С. Н. Яшина, Н. И. Яшиной и т. д.

Разработка методологии и методов управления производственными системами различных иерархических уровней отражена в работах И. В. Балахоновой, Е. Ю. Беловой, Р. Я. Вакуленко, Г. Б. Клейнера,

Ю. А. Ковальчук, Д. А. Корнилова, Д. Н. Лапаева, В. К. Мизюна, Е. С. Митякова, А. Ф. Плехановой, С. Г. Фалько, А. В. Шмидта, Ф. Ф. Юрлова.

Вопросам применения систем искусственного интеллекта в управлении посвящены работы Е. И. Аксеновой, И. В. Васеева, Н. В. Городновой, П. Джудичи, К. В. Екимовой, Р. Клауберга, Д. Ф. Люггера, В. Г. Найренко, Е. В. Осадчука, А. А. Пороховского, А. С. Славянова и др.

Упомянутые авторы внесли существенный вклад в теорию и практику управления производственными системами. Однако, по нашему мнению, существующие научные труды не в полной мере раскрывают проблемы, связанные с созданием эффективных методов управления производственными системами в период цифровой трансформации. В частности, недостаточно отражены вопросы использования системы искусственного интеллекта для поддержки принятия управленческих решений производственных системах.

Объектом исследования являются производственные системы как кибернетические системы взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов производственного процесса.

Предметом исследования выступают модели и процедуры управления производственными системами, основанные на использовании систем искусственного интеллекта.

Цель исследования заключается разработке и обосновании подходов к управлению производственными системами с использованием искусственного интеллекта.

Для достижения цели исследования в рамках диссертации решены следующие **задачи по разработке**:

1. Концептуальной модели управления производственными системами в условиях цифровой трансформации.
2. Классификации систем искусственного интеллекта в задачах управления производственными системами.
3. Процедуры непрерывного управления производственными

системами с использованием технологий искусственного интеллекта.

4. Модели диагностики производственных систем с использованием искусственного интеллекта.

5. Методики комплексной оценки эффективности управления производственной системой.

Теоретическая и методологическая основа диссертации включает ключевые концепции, связанные с управлением производственными системами, цифровой трансформацией и искусственным интеллектом. Для достижения поставленной цели применены системный и кибернетический подходы, методы системного анализа, приемы экономико-статистического и историко-логического моделирования.

Информационной основой исследования выступали нормативно-правовые акты, отчеты производственных компаний, публикации в периодических изданиях российских и иностранных ученых, официальные веб-ресурсы, а также результаты авторских экспериментов и расчетов.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в решении научной задачи по разработке подходов к управлению производственными системами, отличающихся использованием современных систем искусственного интеллекта, интеграцией концептуальных моделей и адаптивных процедур управления, а также новыми методиками оценки эффективности в условиях цифровой трансформации.

Наиболее существенные результаты, обладающие научной новизной исследования, заключаются в следующем:

1. *Разработана* концептуальная модель управления производственными системами в условиях цифровой трансформации. Модель включает три взаимосвязанных блока: анализ и формализация для выявления ключевых факторов производственной деятельности, прогнозирование для оценки будущих изменений и цифровую экосистему для оперативной поддержки принятия решений. Авторская модель *отличается* от

существующих тем, что интегрирует экспертные знания с искусственным интеллектом и акцентирует внимание на оперативной поддержке принятия решений, что *позволяет* повысить скорость и точность реакции на изменения в производственной системе (стр. 53–60).

2. *Предложена* классификация систем искусственного интеллекта в задачах управления производственными системами, которая *позволяет* выбирать и применять подходящие технологии в зависимости от конкретных потребностей и требований производственных систем. В рамках классификации системы искусственного интеллекта разделены по следующим основаниям: степени автономности, степени автоматизации, архитектурному принципу, сфере применения, функциям в контуре управления, специализации систем, комплексности и сложности систем, методам обработки информации, типу решаемых задач. *В отличие от существующих*, авторская классификация предлагает оригинальный подход к группировке различных систем искусственного интеллекта в задачах управления производственными системами, что *облегчает* их практическое использование (стр. 60–69).

3. *Разработана* процедура управления производственной системой, обеспечивающая циклическое непрерывное управление производственными процессами с использованием технологий искусственного интеллекта. *В отличие от существующих решений*, процедура использует технологии искусственного интеллекта на каждом этапе производственного цикла, что *позволяет* оптимизировать производственные процессы в реальном времени, повысить эффективность системы, снизить затраты и улучшить качество продукции благодаря автоматизированной аналитике (стр. 70–75).

4. *Предложена* модель диагностики производственных систем с использованием технологий искусственного интеллекта. Применение модели на практике *позволяет* решать задачи автоматизации производственных бизнес-процессов, увеличения скорости анализа и оперативного реагирования, прогнозирования управляющих параметров, принятия управленческих

решений, снижения затрат времени и ресурсов. *Отличительной особенностью* авторской модели выступает интеграция многоуровневого анализа данных и механизма обратной связи, что обеспечивает динамическую адаптацию управленческих решений в режиме реального времени и на основе исторических данных (стр. 77–83).

5. *Разработана* методика комплексной оценки эффективности управления производственными системами. В рамках методики предложена система показателей для оценки эффективности управления производственными системами, включающая пять проекций (динамика, финансы, ресурсы, инновации и цифровое развитие). Методика предполагает этапы выбора показателей, сбора информации, нормализации данных, вычисления и анализа динамики интегральных индексов эффективности управления производственными системами и *отличается* включением показателей цифровизации и использования искусственного интеллекта в производственных системах. Это *позволяет* проводить всестороннюю оценку эффективности управления, выявлять оптимальные направления для его улучшения, сравнивать вклад отдельных проекций в общую оценку производственной системы и отслеживать интегральные тенденции ее развития в динамике (стр. 83–104).

Теоретическая значимость диссертации проявляется в том, что ее ключевые идеи и разработки способствуют совершенствованию теории менеджмента производственных систем — особенно в контексте формирования эффективных подходов к управлению с применением искусственного интеллекта.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения предложенных методических рекомендаций и теоретических разработок для управления производственными системами в условиях цифровой трансформации. Разработанные подходы позволяют руководству производственных систем принимать обоснованные научные управленческие

решения при оценке уровня управления с применением систем искусственного интеллекта.

Соответствие паспорту специальности ВАК. Работа выполнена в соответствии с паспортом научной специальности 5.2.6. «Менеджмент» в направлении исследований: п. 5. Разработка теории и методов принятия решений в экономических и социальных системах. Системы искусственного интеллекта для поддержки принятия управленческих решений; п. 17. Управление операциями. Управление производственными системами. Управление операционной эффективностью предприятия и организации; п. 26. Управление организацией в контексте цифровой трансформации. Стратегии и методы цифровой трансформации бизнеса.

Апробация результатов диссертационного исследования. Результаты диссертации получили апробацию в Нижегородском региональном отделении Вольного экономического общества России, ООО «Лазер-НН Металлообработка», АО «Метрогипротранс», а также в образовательном процессе в ФГБОУ ВО «МИРЭА — Российский технологический университет».

Ключевые положения и результаты диссертационного исследования были обсуждены и одобрены на международных и всероссийских научно-практических конференциях, включая: «Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике» (г. Москва, РТУ МИРЭА, 2019), «Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций» (г. Нижний Новгород, НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2023), «Электротехника, системы автоматизации и управления (теория и практические приложения)» (г. Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023), «Человек — семья — общество — государство — бизнес: формирование образа будущего России» (г. Москва, НЧОУ ВО «МИЭПП», 2024), «Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы», (г. Нижний Новгород, НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2024), «Конференция молодых исследователей в области электротехники и электроники (2025 ElCon)» (г. Санкт-Петербург, СПбГЭТУ

«ЛЭТИ», 28-29 января 2025 года).

Публикации. В рамках диссертационного исследования опубликовано 16 научных трудов общим объемом 6,85 п. л., из которых авторский вклад составляет 5,1 п. л. Среди них 8 статей опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, включенных в список ВАК при Министерстве образования и науки РФ.

Структура диссертации обусловлена целью, задачами и логикой проведения научного исследования. Диссертационная работа изложена на 149 страницах компьютерного текста, состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка из 240 источников, (в том числе зарубежных), приложений на 2 страницах, содержит 13 таблиц и 13 рисунков.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

1.1. Управление производственными системами: отечественный и зарубежный опыт

Производственная сфера государства выступает многоаспектной и сложной системой, охватывающей широкий спектр взаимосвязей и элементов во всех сферах экономической деятельности, а совершенствование теоретико-методологических аспектов управления в данной сфере выступает одной из наиболее важных и приоритетных задач современности.

Управление производственными системами охватывает широкий спектр задач, направленных на оптимизацию производственных процессов с целью повышения эффективности, улучшения качества продукции, сокращения издержек и общего улучшения производственной деятельности.

В современной практике управления можно выделить различные модели управления производственными системами: американскую, японскую, западноевропейскую — что свидетельствует о процессе интернационализации методов современного менеджмента. Часто источники новаторских подходов не привязаны к национально-культурным особенностям конкретной компании, а определяются объективной логикой научно-технического прогресса.

В преддверии рассмотрения отечественного и зарубежного опытов управления производственными системами целесообразно определиться с ключевыми понятиями в сфере производственных систем. Вопросами научно-понятийного аппарата производственных систем занимались многие ученые-экономисты, включая З. К. Айларову и М. Р. Дзагоеву [8], А. И. Балашова

[17], А. Ильина и Л. Синицину [64], М. А. Вайкока [31], А. В. Шмидта [176] и др.

Дж. Вумек определяет производственную систему как особый вид систем, выделившийся в результате социального разделения труда. Эта система представляет собой автономную часть производственного процесса, способную самостоятельно или совместно с другими подобными системами производить продукцию или предоставлять услуги [54].

По мнению В. П. Лецкого и Н. С. Давыдовой, термин «производственная система» включает в себя определенное мировоззрение в организации. Это мировоззрение способствует повышению эффективности трудовой деятельности и удовлетворению от труда как для отдельных индивидов, так и для всей компании [97].

В работе В. К. Мизюна под производственной системой понимается механизм, осуществляющий технологические операции, часть общей деятельности организации. Такая система преобразует входящие факторы производства (ресурсы) в конечные продукты (товары или услуги) [110].

А. И. Балашов рассматривает производственную систему как сложную кибернетическую систему, объединяющую взаимосвязанные и взаимообусловленные элементы производственного процесса. Эта система представляет собой объединение технических и организационных аспектов производства, формируя единое целое, которое функционирует с целью производства промышленной продукции или предоставления услуг [17]. Именно данная дефиниция термина «производственная система» легла в основу диссертационной работы.

Выделяют следующие характерные особенности производственных систем [31]:

- открытость, которая проявляется не только в материальном и энергетическом обмене, но также в обмене информацией;
- полиструктурность, наличие в системе взаимосвязанных подсистем;

- целенаправленность, способность производить необходимую продукцию или предоставлять услуги;

- сложность, обусловленная наличием множества элементов, связей и выполняемых в системе процессов.

К признакам производственной системы можно отнести [17]:

- установленные цели и критерии эффективности;
- участие машин, природной среды, коллектива людей и воздействующих отклонений;

- иерархическую структуру управления с многоуровневыми связями;
- наличие выделенных подсистем с конкретными действиями;
- перемещение значительных потоков труда, материалов и информации между подсистемами.

Кроме определенных признаков, производственная система включает наличие кадровых, информационных, финансовых, технических и иных видов ресурсов, которые в своей совокупности отражают возможности для достижения производственных задач [91].

Развитие теории и методологии управления производственными системами в мире проходило эволюционно. Теоретический базис данного направления был заложен в работах А. Смита о разделении труда [177].

Одними из первых трудов в сфере менеджмента производственных систем стали работы Г. Эмерсона [200] и Ф. Тейлора [234], в которых были раскрыты базисные принципы и факторы, способствующие повышению производительности труда.

Г. Форд как основатель массового производства внедрил инновационные подходы к научной организации труда, что обеспечило успех его компании в автомобильной индустрии. Его фундаментальные работы, такие как «Моя жизнь, мои достижения» [161] или «Сегодня и завтра» [162], продолжают оставаться важными для современников. В начале XX века Л. и Ф. Гилбрет сделали значительный вклад в развитие промышленной

психологии и оптимизацию рабочих процессов [203, 204]. Можно сказать, что эти исследования явились своеобразной точкой отсчета для организации научного труда.

Исследования отечественных ученых того времени в основном фокусировались на аспектах повышения эффективности производственных систем и их планирования. В этом контексте А. А. Богданов в своем произведении «Тектология: всеобщая организационная наука» создал теоретическую основу для системной теории [27]. Работы А. К. Гастева посвящены проблемам организации труда [42]. Ряд исследователей анализировали аспекты улучшения практики нормирования труда [123, 134, 149].

Дальнейшее развитие теории и методологии управления промышленными системами связывают со смещением вектора исследований в сторону человеческого фактора. В зарубежной научной литературе получили развитие научные школы «человеческих отношений» [219, 230] и, в дальнейшем, «поведенческих наук» [14, 105, 164]. В это же время в отечественной науке особое внимание уделялось направлению, объединяющему кибернетические и технические аспекты управления (кибернетике) [70].

Дальнейшее развитие научного базиса в сфере управления производством связывают с системным подходом [24, 56]. Эволюцию системных концепций в управлении можно разбить на три фазы: возникновение и развитие жесткого системного подхода (период с середины 50-х по середину 70-х годов XX века), формирование и расцвет мягкого системного подхода (середина 70-х), и переход к комплементаризму в области менеджмента (вторая половина 80-х).

Жесткий системный подход возник как методология для планирования и согласования выполнения сложных взаимосвязанных задач. Среди методов, связанных с этим подходом, можно выделить системный анализ, инжиниринг

и исследование операций. Одним из базовых инструментов системного анализа является декомпозиция целей, которая предполагает разбиение изучаемой системы на подсистемы [182]. Помимо этого, активно задействован метод дерева целей [173].

Отдельно следует отметить аспекты управления производственными системами в условиях неопределенности и риска. Существенный вклад в приращение научных знаний в данной области внесли нижегородские ученые под руководством Заслуженного деятеля науки РФ, профессора Ф. Ф. Юрлова [49, 63, 88, 180, 181].

С развитием общества стало ясно, что ключевым фактором успеха для организаций является человек. Его поведение нельзя ограничить формальным системным описанием, что ранее не учитывалось. Индивид принимает решения, которые могут не совпадать с формальными ожиданиями руководства, ведя к неудачам в достижении целей. Это ограничение жесткого системного подхода привело к появлению альтернативы в виде мягкого системного подхода в 70–80-х годах XX века. Отличие мягкого подхода от жесткого заключается в учете человеческого фактора, его мировоззрения, ценностей и интересов [99].

В рамках системного подхода комплементаризм содержит два элемента. Первым является синтез множества системных методов, которые используются для декомпозиции проблем и анализа их компонентов с точки зрения применимости. Вторым выступает философско-методологическая стратегия, направленная на интеграцию различных подходов для достижения эффективных решений в области управления, особенно в планировании и принятии решений. Применение данного подхода способствует комплексному исследованию сложных систем, выявлению корреляций между их элементами [146].

Таким образом, системный подход развивался, решая три основные задачи: аккумуляцию новейших результатов наук, интеграцию принципов философии (особенно системности) и применение разработанного

концептуального аппарата в практической деятельности. В настоящее время системный подход в управлении дополнен аппаратом экономико-математического моделирования, инструментальными средствами поддержки принятия решений и т. д.

Последующее развитие аспектов управления промышленными системами ознаменовалось появлением разнообразных концепций. Наибольшее распространение получили методологии бережливого производства, быстрореагирующего производства и активного производства [83]. Остановимся на них подробнее.

Бережливое производство. Целью такого вида производства выступает снижение затрат всех ресурсов, используемых в бизнесе, без ущерба для качества продукции [138]. Данный концепт был создан в Японии после Второй мировой войны. В те времена промышленность страны испытывала острый дефицит ресурсов, не имела адекватной господдержки. В ответ на эти вызовы промышленные системы Японии устремили свои усилия на минимизации потерь и рациональном задействовании доступных ресурсов.

Один из основателей производственной системы Toyota Т. Оно, классифицировал семь типов потерь: дефектная продукция, время ожидания, избыточные перемещения, перепроизводство, ненужная транспортировка, лишние этапы обработки, избыточные запасы. Позже к данному перечню прибавились перегрузки от высокой интенсивности труда и нереализованный творческий потенциал сотрудников [226]. Основной задачей выступает устранение потерь и оптимизация процессов. В дальнейшем в рамках бережливого производства были предложены многочисленные управленческие подходы (система 5S, канбан и др.). Следует отметить, что в современных реалиях методология бережливого производства эффективно задействована не только в различных производственных системах, но и в организациях, не относящихся к промышленному сектору.

Быстрореагирующее производство. В последние годы производители

значительно увеличили количество предлагаемых функций, что обусловлено развитием интернет-технологий и систем автоматизированного проектирования. Увеличение спроса на разнообразные продукты с требуемой функциональностью стало причиной возникновения методологии быстрореагирующего производства, разработанной американским математиком Р. Сури [152].

Данная стратегия активно применяется компаниями для сокращения времени обработки заказов через оптимизацию всех внутренних и внешних процессов [104]. В отличие от бережливого производства, ориентированного на снижение затрат, быстрореагирующее производство фокусируется на сокращении общего времени выполнения заказов. Уменьшение времени выполнения, как правило, способствует снижению стоимости продукции, повышению ее качества и улучшению конкурентоспособности компании.

Основным параметром в рамках этой концепции выступает критический путь производства, который охватывает период от размещения заказа до момента, когда первый продукт поступает к заказчику. К базовым концепциям быстрореагирующего производства можно отнести: сокращение времени, необходимого для выполнения всех этапов производственного цикла; оптимизация критический путь производства; стремление к более эффективному управлению потоком заказов, чтобы минимизировать задержки и избыточные запасы; создание гибких ячеек производства, объединяющих необходимые ресурсы для выполнения конкретных производственных задач; полное участие всех сторон; создание гибких систем, способных быстро адаптироваться к изменениям в спросе, дизайне или технологии; минимизация запасов в производственной системе с целью уменьшения издержек; применение теории очередей; развитие высококвалифицированных и мотивированных сотрудников.

Активное производство. Активное производство представляет собой метод организации производственных процессов, который базируется на предвосхищении изменений в бизнес-среде и оперативном реагировании на

динамично меняющиеся потребности рынка с эффективным использованием внутренних и внешних ресурсов [49]. Целью данной стратегии является рост устойчивости производства непредсказуемым изменениям в условиях рынка.

Организации, применяющие концепцию активного производства, обладают способностью быстро адаптировать ресурсы (материальные и трудовые) для минимизации возможных негативных последствий и максимизации прибыли. Главным преимуществом данной концепции является высокая скорость реакции на изменения и эффективность функционирования в условиях рыночной неопределенности. Эта концепция особенно актуальна для отраслей с выраженной неопределенностью — таких, как информационные технологии.

Основные черты активного производства включают в себя: перманентную готовность к изменениям; наличие сценарных стратегий; проактивное предвидение изменений; преобладание интеллектуальных ресурсов над материальными; наличие стержневой группы многофункциональных специалистов; рациональное использование как внутренних, так и внешних ресурсов с целью повышения эффективности производственных операций; нацеливание усилий на понимании и удовлетворении требований клиентов в динамичной среде. Кроме этого, для компаний, придерживающихся стратегии активного производства характерно наличие разветвленной сети партнерских организации (с дублирующими и дополняющими компетенциями) и поставщиков и проектно-командной организации работ.

Таким образом, три рассмотренные методологии отличаются стратегической направленностью. Принципы бережливого производства фокусируются на постоянном выявлении и устранении потерь различного характера. Быстрореагирующее производство стремится к сокращению цикла обработки заказа и его доставки клиенту. Активное производство базируется на оптимизации процессов, обеспечивающих эффективное функционирование в условиях рыночной динамики. Методология, которая будет выбрана, во многом

зависит от отраслевых особенностей и размеров производства. В таблице 1.1 приведены основные различия трех описанных выше подходов.

В настоящее время в мировой практике управления наблюдается сосуществование различных моделей управления: американской, японской, западноевропейской, в чем проявляется процесс интернационализации современного менеджмента. Часто истоки тех или иных новшеств лежат не в национально-культурных особенностях той или иной фирмы, но предопределяются объективной логикой научно-технического прогресса.

Несмотря на различия в организационной культуре и уровне социально-экономического развития, существующие системы управления промышленными системами в различных странах демонстрируют множество общих характеристик. В то же время уникальные аспекты управления в каждой стране являются значимыми факторами, влияющими на выбор методов управления. Таблица 1.2 иллюстрирует опыт формирования систем управления промышленными системами в Японии, США и России.

Таблица 1.1.

Сравнение бережливого, быстореагирующего и активного производств

Фактор	Бережливое производство	Быстореагирующее производство	Активное производство
Стратегический ориентир	Сокращение издержек	Скорость выполнения заказа	Эффективные действия в условиях неопределенности
Тип производства	Крупносерийное и массовое	Средне- и мелкосерийное	Мелкосерийное и индивидуальное
Уровень кастомизации продукта и услуг	Низкий-средний	Средний-высокий	Высокий
Уровень задействования ресурсов	100%	80%	> 100% (использование сторонних ресурсов)
Инновационный потенциал	Низкий-средний	Средний-высокий	Высокий

Источник: [152]

Таблица 1.2.

**Опыт формирования систем управления промышленными системами
на примере Японии, США и России**

Страна	Характеристики
США	В Соединенных Штатах качество управления зависит от акций компании, отражая ее рыночную стоимость. Управление производственной системой ориентировано на потребительские ценности и высокое качество жизни. Коллективная работа направлена на быстрый материальный успех сотрудников. Инновации внедряются на всех этапах производственного процесса, что способствует модернизации структур и финансовому контролю. Стремление к мировому лидерству охватывает все сферы менеджмента, подчеркивая важность интегрированного подхода
Япония	В Японии качество системы управления оценивается через достижение долгосрочных целей, что отражает стратегический подход к развитию. Управление производственными процессами ориентировано на удовлетворение потребностей как текущих, так и потенциальных клиентов, обеспечивая устойчивость и конкурентоспособность на рынке. Особое внимание уделяется коллективному успеху, приоритет которого ставится выше индивидуальных достижений. Основой управленческой концепции является постепенное внедрение небольших изменений во всех сферах деятельности, что позволяет добиваться постоянного совершенствования. Качество работы контролируется самими сотрудниками, что способствует развитию ответственности и самоконтроля. При этом активное копирование продукции конкурентов с последующей ее модернизацией является одной из ключевых стратегий для повышения конкурентоспособности
Россия	В России качество системы управления преимущественно определяется скоростью получения максимальной прибыли, что отражает краткосрочную ориентацию на результаты. Управление производственными процессами строится на применении простых управленческих решений, направленных на быстрое достижение целей. Однако мотивация управленцев не всегда является достаточной для достижения высоких результатов. Развитие систем управления основывается на концепциях, ориентированных на краткосрочные и среднесрочные перспективы. Важной характеристикой также является заимствование зарубежных подходов к формированию систем управления

Источник: составлено автором на основе [18]

В связи с необходимостью обеспечения технологического суверенитета в современной отечественной экономике происходит перестройка устаревших структур управления. Механический перенос концепций управления из одной социокультурной среды в другую, (а также копирование опыта других стран) могут привести к серьезным экономическим и социальным последствиям. Также следует отметить, что в России существует ряд проблем в управлении производственными системами, которые могут влиять на эффективность

производственных процессов. К ним можно отнести: низкую автоматизацию и устаревшее оборудование, неэффективное управление запасами, недостаточное внимание качеству продукции, проблемы в управлении персоналом, бюрократические барьеры, низкую инвестиционную активность, несовершенство логистики и др. Кроме этого, для формирования надлежащей системы управления производственными системами требуется высокий уровень подготовки руководителей на всей иерархии менеджмента. Решение названных проблемы требует научно-обоснованного подхода со стороны и бизнес-сообщества и государственных институтов для общего улучшения менеджмента отечественными производственными системами.

В заключении параграфа отметим, что современные тренды в управлении производственными системами связывают с повсеместной цифровой трансформацией [115]. Она настолько прочно вошла в повседневную практику управления и научные публикации, что стала общепринятым термином с достаточно широким значением [194]. Вместе с тем управление производственными системами в период цифровой трансформации сталкивается с рядом вызовов и предоставляет новые возможности для оптимизации и совершенствования производственных процессов. Цифровая автоматизация и автоматизация производства, системы управления данными и аналитика, облачные технологии, цифровые двойники, интеграция цифровых платформ, цифровые технологии для управления цепочками поставок — это тренды, игнорирование которых может отрицательно сказаться на эффективном управлении производственными системами в новом цифровом контексте

Цифровая трансформация не только способствует значительному повышению производительности, качества и эффективности использования ресурсов, но также обеспечивает формирование новых моделей управления на основе современных информационных потоков. Ее ключевой задачей в сфере промышленности является совершенствование управления производственными процессами.

Завершая далеко не полный обзор отечественного и зарубежного опыта управления производственными системами, отметим, что на сегодняшний день у промышленных систем отсутствует единая унифицированная система механизмов и инструментов управления, а методические аспекты управления производственными системами с использованием современных технологий искусственного интеллекта в контексте цифровой трансформации представлены фрагментарно. В следующих параграфах данной главы приведен обзор используемых систем искусственного интеллекта в управлении производственными системами, а также дано обоснование необходимости совершенствования систем управления производственными системами в современных условиях.

1.2. Системы искусственного интеллекта в управлении производственными системами

В настоящее время цифровые технологии стали неотъемлемой частью управления производственными системами. Они способствуют увеличению производительности труда, оптимизации распределения ресурсов, улучшению качества и эффективности государственного управления, оптимальному формированию цепочек воспроизводства, повышению надежности финансовых систем и др. [55, 96]. Одним из драйверов технологического обновления производства сегодня выступают технологии искусственного интеллекта, ключевая роль которых подчеркивается и доказывается во многих научных трудах отечественных и зарубежных исследователей [10, 26, 34, 124, 192, 193, 214].

В течение последних десятилетий разработка систем искусственного интеллекта стала не только важным объектом теоретических исследований, но и активно развивающимся сектором практических применений в различных

областях человеческой деятельности. Задачи, решение которых ранее занимало продолжительное время, в настоящее время разрешаются с использованием искусственного интеллекта за достаточно короткие сроки [52].

В России реализуется Федеральный проект «Искусственный интеллект», являющийся частью Национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», который направлен на создание благоприятных условий для повсеместного применения продуктов, основанных на отечественных технологиях в области искусственного интеллекта [1]. Проект также способствует развитию отечественной ИИ-индустрии, поддерживая инновации и укрепляя конкурентоспособность страны на мировом технологическом рынке.

Уровень интеграции технологий искусственного интеллекта в России на данный момент существенно отстает от мировых показателей. Несмотря на то, что более 20% предприятий в ключевых секторах промышленности уже внедрили ИИ, что позволило повысить рентабельность на 5%, распространенность этих технологий остается ограниченной [13]. Эксперты прогнозируют, что активное внедрение искусственного интеллекта способно увеличить прирост ВВП России на 1% к 2025 году. Однако большинство руководителей компаний обладают недостаточными знаниями о возможностях ИИ. Для повышения производительности и прозрачности производственных процессов необходимо развивать информационные системы, включающие сбор, анализ и обработку данных, в которых ИИ играет ключевую роль. Искусственный интеллект уже демонстрирует значительный экономический эффект в таких отраслях, как здравоохранение, транспорт, логистика, автоматизация и финансы, что делает его стратегически важным инструментом для модернизации производственных и бизнес-процессов [206, 236].

Управление производственными системами в последние годы усложнилось, однако благодаря быстрому развитию информационных технологий — особенно

искусственного интеллекта— стало возможным значительно улучшить анализ производственных данных. Это обеспечило принятие более взвешенных и точных управленческих решений. Технологии ИИ активно задействованы в различных проектах, что расширяет их применение и усиливает эффективность управления в различных секторах экономики.

Системы искусственного интеллекта моделируют когнитивные функции человека и при решении задач ставят перед собой цель достигнуть результатов, сопоставимых с результатами человеческого мышления. Эти технологии позволяют компьютерным системам применять математику и логику для моделирования рассуждений, аналогичных тем, которые используют люди для получения новой информации и принятия решений.

В научной литературе существует множество дефиниций термина «искусственный интеллект» [48]. В одном из первых определений его связывают со способностью системы пройти тест Тьюринга. По определению Джона Маккарти (одного из основоположников данного научного направления), искусственный интеллект представляет собой «науку и технику создания интеллектуальных машин, в частности, интеллектуальных компьютерных программ» [220, 221]. Таким образом, в данном контексте речь идет о программном обеспечении с интеллектуальными функциями, базирующихся на когнитивных принципах [218].

В настоящее время существует несколько гипотез, касающихся искусственного интеллекта [51]: слабый искусственный интеллект, сильный искусственный интеллект, а также искусственный сверхинтеллект. Первый ограничен выполнением конкретных задач и не обладает общей когнитивной способностью человека. Он способен решать узкие задачи, для которых был разработан, но не может самостоятельно обучаться или применять свои навыки к различным областям. Гипотеза сильного искусственного интеллекта предполагает, что системы искусственного интеллекта могут приобрести способность мышления и осознания себя как индивида. При этом не

обязательно, чтобы их мыслительные процессы имели сходство с человеческими. Теория слабого искусственного интеллекта отвергает такую возможность в принципе. Искусственный сверхинтеллект связывают с появлением гипотетического агента, обладающего интеллектом, намного превосходящим интеллект самых умных и одаренных людей. Отметим, что искусственный интеллект, который сейчас задействован в различных системах управления, является слабым.

Патентный поиск, проведенный в работе Г. В. Гореловой и Э. В. Мельника, позволил авторам прийти к выводу, что изобретательская и исследовательская активность по вопросам, связанным с искусственным интеллектом, находится на достаточно высоком уровне в США, Канаде и Китае. В России данная тематика также присутствует, однако пока находится на стадии зарождения [50].

Использование систем искусственного интеллекта в управлении подразумевает имплементацию разнообразных расчетных алгоритмов, зачастую требующих значительных вычислительных ресурсов. В разные периоды данные системы ассоциировали с различными группами экономико-математических методов: оптимальное управление (50-60-е гг. прошлого века), кибернетические системы (70-е гг.), оптимизация производства (80-е гг.), нейронные сети, интеллектуальный анализ данных, экспертные системы (90-е гг. и далее). В настоящее время для обозначения объединения технологических и информационных возможностей, включающих программные и аппаратные технологии широко задействован термин «big data». В двадцатом первом веке сфера искусственного интеллекта переживает новый этап развития, используя теоретическую основу, заложенную в 70-х годах, и интегрируя в себя достижения всех последующих этапов развития [100].

Следует подчеркнуть, что использование одного термина для объединения разнообразных математических методов является условным.

Многие методы могут быть классифицированы в несколько научных направлений, а некоторые направления представляют собой комплексные концепции, не являясь с научной точки зрения цельными областями знаний [224]. Поэтому, на наш взгляд, технологии, используемые в управлении промышленными системами, требуют систематизации и классификации, которая будет представлена в следующей главе диссертационного исследования.

Технологии искусственного интеллекта сегодня широко используются в самых разных сферах менеджмента, поскольку их применение имеет потенциал повысить производительность, снизить издержки и улучшить стратегическое принятие решений. Например, можно выделить следующие процессы, в рамках которых технологии искусственного интеллекта решают конкретные управленческие задачи:

1. *Управление персоналом.* В настоящее время методы искусственного интеллекта активно задействованы в процессе подбора персонала, оценки навыков и прогнозирования успеха кандидата, анализе данных по производительности сотрудников и др [116].

2. *Ценообразование.* Технологии искусственного интеллекта анализируют данные статистики и строят прогнозы, обрабатывая обширные массивы информации с целью определения оптимального уровня цен [166].

3. *Обеспечение безопасности.* Системы искусственного интеллекта способны анализировать паттерны поведения клиентов и выявлять подозрительные операции, что позволяет нивелировать риск киберпреступлений. Такой подход значительно повышает уровень защиты системы, снижает финансовые потери и ведет к росту доверия пользователей [57].

4. *Клиентский сервис.* Интеллектуальные системы помогают улучшить обслуживание клиентов через чат-ботов, автоматизированные системы ответов, персонализированные виртуальные ассистенты, анализ

обратной связи клиентов, выявления проблем и улучшения качества обслуживания [68].

5. *Маркетинговая сфера.* Системы искусственного интеллекта, опираясь на изучение рынков и анализ продаж, проводят прогнозирование возможных сценариев развития событий. Алгоритмы анализируют данные об объемах сделок, контактах клиентов и приобретенных ими товарах или услугах [175]. Кроме того, интеллектуальные технологии изучают поведение конкурентов для сопоставления успешных и неудачных стратегий — что позволяет формировать и внедрять маркетинговые стратегии с высокой вероятностью достижения финансового успеха.

6. *Автоматизация бизнес-процессов.* Роботизированный процесс автоматизации может выполнять рутинные задачи — такие, как обработка данных и ввод информации — безошибочно и точно [93].

7. *Мониторинг и контроль.* Наиболее простой пример контроля и мониторинга с применением технологий искусственного интеллекта — система идентификации автомобильных номеров. Кроме того, подобные технологии активно задействуются для распознавания лиц [132].

8. *Предиктивная аналитика.* Технологии искусственного интеллекта способны обрабатывать большие массивы информации, выявлять закономерности и осуществлять прогнозы. В настоящее время интеллектуальные системы проводят анализ характеристик покупателей и товаров, после чего автоматически формируют качественные рекомендации [142].

В настоящее время в промышленной сфере существует стандартная классификация информационно-управляющих систем, которая разделяет основные задачи на уровни принятия решений. Принцип этого разделения основан на использовании результатов работы систем более низкого уровня в качестве входных данных. Схема, представленная на рисунке 1.1, иллюстрирует четырехуровневую иерархию производственных

информационно-управляющих систем. В данном контексте искусственный интеллект выполняет ключевую роль, способствуя повышению эффективности, гибкости и интеллектуальных возможностей этих систем.

Из рисунка видно, что на первом уровне располагаются автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП). На втором уровне находятся MES-системы (Manufacturing Execution System), которые предназначены для координации и синхронизации, анализа и оптимизации производства. На третьем уровне используют ERP-системы (Enterprise Resource Planning), предназначенные для эффективного управления финансовой и хозяйственной деятельностью производства. Наконец, OLAP-технологии предназначены для проведения оперативного многомерного анализа данных с целью принятия управленческих решений. Эта структура представляет собой сложную систему управления с взаимосвязями, в которой высшие уровни систем определяют цели для более низких уровней.



Рисунок 1.1. Иерархия производственных информационно-управляющих систем
Источник: [171]

Далее представим основные сферы применения технологий искусственного интеллекта на производстве [82].

1. Оптимизация производственного плана. Задача оптимизации производственного плана заключается в нахождении наилучшего способа организации производства с учетом различных ограничений и целей. Оптимизация производственного плана включает в себя следующие шаги: формулирование целей (например, максимизация прибыли, минимизация издержек, удовлетворение спроса) и ограничений (например, ограничения по ресурсам, времени, квалификации персонала, технические ограничения); моделирование производственных процессов; выбор метода оптимизации (например, линейное программирование для задач с линейными ограничениями, динамическое программирование для задач с последовательными решениями и др.); применение выбранного метода оптимизации; оценка результатов; внедрение и контроль.

Множество предлагаемых подходов для решения этой задачи охватывает разнообразие методов: начиная от классических алгоритмов линейного и целочисленного линейного программирования, заканчивая аппроксимационными нейросетевыми схемами [198] и агентными моделями [101]. Также широко используются оптимизационные техники, такие как эвристики, методы декомпозиции, программирование в ограничениях и другие подобные подходы. Помимо этого, применяют различные стратегии планирования и оптимизационные критерии.

2. Задача оптимального управления по обратной связи. Данная задача является классической в теории управления. Она заключается в выборе оптимального управляющего сигнала для системы с обратной связью с целью минимизации (максимизации) некоторого критерия производительности. Задача имеет множество практических применений в управлении производственными процессами, техническими системами, финансами и т. д.

Математически задача оптимального управления по обратной связи

может быть сформулирована в терминах теории оптимального управления и динамического программирования. Она часто решается с использованием методов оптимизации — таких, как методы градиентного спуска, методы динамического программирования, методы оптимального управления и другие. Существует значительное разнообразие алгоритмов поиска оптимального управления. Независимо от типа используемой модели объекта, для достижения оптимального (или субоптимального) управления часто применяют методы прямой оптимизации, эволюционные алгоритмы и стохастические методы оптимизации. В определенных случаях постановки задачи поиска оптимального управления могут быть сведены к различным типам математического программирования — таким, как линейное, квадратичное, булево, дискретное программирование и т. д. При использовании нейросетевых моделей алгоритмы поиска сущности заменяются алгоритмами обучения нейронной сети. Для учета изменяющихся условий окружающей среды и динамики самого объекта управления применяются методы адаптивных (самоадаптирующихся) систем.

3. Прогнозирование будущего состояния производственной системы. Задача прогнозирования является важной задачей в области управления производством и заключается в предсказании будущего состояния системы на основе имеющихся данных о производственных процессах, оборудовании, ресурсах и других факторах. Точные прогнозы могут помочь в оптимизации производственных процессов, сокращении издержек и повышении эффективности производства.

Для решения этой задачи часто используются методы математического моделирования, статистического анализа данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. Например, для прогнозирования производственных показателей можно применять временные ряды, регрессионный анализ, нейронные сети, методы кластерного анализа и др. Здесь можно выделить подход Model-Predictive Control (MPC), который

направлен на формирование будущих управляющих воздействий на объект с учетом изменения его динамики во времени. В настоящее время статистические и нейросетевые прогнозные модели становятся широко распространенными, и на их основе реализуются такие технологии, как виртуальные датчики или анализаторы [117]. Они способны экстраполировать измерения лабораторных параметров между их фактическими измерениями. Также применяются виртуальные наблюдатели, которые оценивают ненаблюдаемые технологические параметры [117].

4. Выбор оптимальных производственных сценариев. Данная задача заключается в поиске наилучших вариантов организации производства, планирования производственных процессов, распределения ресурсов и принятия решений о производственных операциях. При выборе оптимальных производственных сценариев учитываются различные критерии — такие, как минимизация издержек, максимизация производительности, оптимизация использования ресурсов, удовлетворение спроса, соблюдение ограничений по времени и ресурсам, учет рисков и неопределенности и т. д.

Для решения задачи задействуют методы оптимизации, моделирования и анализа данных — включая системы дифференциальных уравнений, методы пространства состояний, структурный анализ, анализ временных рядов, классические статистические подходы, нейронные сети и метод опорных векторов. Также используются различные комбинации этих методов для повышения эффективности.

5. Предиктивная диагностика оборудования. В дополнение к основным задачам производства, которые связаны с выполнением производственных операций и выполнением плановых заданий, промышленные системы также сталкиваются с существенной задачей обслуживания и поддержания работоспособности производственного оборудования. Задача предиктивной диагностики оборудования заключается в прогнозировании возможных отказов или неисправностей оборудования на

основе анализа данных о его состоянии. Это позволяет предотвратить неплановые остановки производства, снизить издержки на ремонт и обслуживание, а также повысить эффективность оборудования. На сегодняшний день существует большое разнообразие стратегий разработки планов технического обслуживания оборудования. Наиболее передовой из них признается стратегия обслуживания по состоянию и ее различные вариации [232]. Реализация таких стратегий требует установки систем мониторинга и анализа состояния оборудования, которые способны в режиме реального времени отслеживать изменения в работе оборудования, предсказывать его дальнейшее поведение и предоставлять рекомендации по времени и объему плановых ремонтных работ.

Для решения задачи используются методы машинного обучения, статистического анализа данных, а также технические знания об оборудовании и его характеристиках. Основные этапы задачи предиктивной диагностики оборудования следующие: сбор данных о состоянии оборудования (температура, вибрация, уровень шума, давление и др.); подготовка данных (очистка и предварительная обработка); определение наиболее информативных признаков (параметров) состояния оборудования; обучение модели, способной предсказывать возможные отказы или неисправности на основе предоставленных данных; тестирование модели и оценка ее качества; внедрение модели. Для решения задач прогнозирования задействуют различные методы, включая нейронные сети, метод опорных векторов и его вариации, статистические и регрессионные подходы, методы обработки временных рядов, а также технологии интеллектуального анализа данных [228].

Представленный перечень сфер применения искусственного интеллекта в производственных системах — это лишь небольшой список возможных областей применения интеллектуальных технологий на производстве. Их использование может быть расширено в зависимости от конкретной отрасли и

управленческих потребностей.

В заключении параграфа отметим, что использование систем искусственного интеллекта в производственных системах вызывает ряд вопросов, которые зачастую требуют дополнительного вмешательства человека [196]. Приведем некоторые из них.

1. *Недостаток данных и их качество.* Многие системы искусственного интеллекта оперируют большими объемами данных. В некоторых производственных средах может быть ограничен доступ к достаточному количеству информации, или данные могут быть неточными или устаревшими. Быстрое устаревание исходных данных может стать причиной принятия неверных решений.

2. *Несовершенство нормативно-правовой базы.* Для применения систем искусственного интеллекта необходимо формирование надлежащей нормативно-правовой базы и определение ответственных сторон за возможные ошибки роботов.

3. *Безопасность данных.* Обработка большого объема данных включает риски в области безопасности. Производственные данные могут содержать конфиденциальную информацию, и их утечка или несанкционированный доступ может стать серьезной угрозой.

4. *Этические вопросы.* Процесс внедрения технологий искусственного интеллекта неизбежно приводит к сокращению рабочих мест. Вопросы, связанные с этикой использования интеллектуальных систем — включая проблемы прозрачности, ответственности и воздействия на рабочую силу — требуют серьезного внимания и регулирования.

5. *Технические проблемы.* Процесс внедрения интеллектуальных технологий в существующие производственные системы зачастую сопровождается разнообразными техническими трудностями. Кроме этого, технологии стремительно развиваются, а их поддержка требует перманентного обновления.

Решение названных проблем требует комплексного подхода, включающего в себя техническую модернизацию производств, разработку правового и этического регулирования, а также обучение и подготовку соответствующих кадров.

Таким образом, в данном параграфе диссертации представлен обзор системы искусственного интеллекта в управлении производственными системами. Отмечено, что в отечественной экономике данная тематика пока находится в зачаточном состоянии, а используемые в управлении промышленными системами технологии требуют надлежащей систематизации и классификации. В данном параграфе представлена иерархия производственных информационно-управляющих систем, обозначены процессы, в рамках которых технологии искусственного интеллекта решают конкретные управленческие задачи. Кроме этого, в рамках параграфа приведены некоторые основные сферы применения технологий искусственного интеллекта на производстве: оптимизация плана производства, моделирование производственных сценариев, прогнозирование состояния производственной системы, оптимальное управление по обратной связи, предиктивная диагностика оборудования.

Таким образом, системы искусственного интеллекта играют ключевую роль в управлении производственными системами, способствуя оптимизации процессов, повышению эффективности и принятию более обоснованных решений. Крайне важно, чтобы вложения в искусственный интеллект в ближайшие годы достаточно обширны и фокусировались на технологиях, способных произвести прорыв в отечественных производственной, научной и конструкторской сферах.

1.3. Обоснование необходимости совершенствования подходов к управлению производственными системами в условиях цифровой трансформации

Совершенствование уровня промышленного развития в условиях непрерывного процесса цифровизации экономики является приоритетным направлением развития государства [155]. Цифровизация в России стала развиваться все быстрее и эффективнее из-за случившейся пандемии коронавируса [19]. Необходимость развития информационных технологий и цифрового бизнеса подтверждается динамичным ростом сектора информационно-коммуникативных технологий в валовой добавленной стоимости предпринимательского сектора и численность занятых ведущих стран мировой экономики [128]. Сегодня целесообразна разработка новых бизнес-моделей предприятий в условиях перехода к цифровой экономике [157].

Современная цифровая трансформация экономических процессов неразрывно связана с технологиями искусственного интеллекта. Эти технологии обеспечивают автоматизацию и оптимизацию бизнес-процессов, что позволяет компаниям повышать эффективность и снижать затраты. Искусственный интеллект способен анализировать большие объемы данных, выявлять закономерности и предсказывать рыночные тренды, что значительно улучшает процесс принятия решений. Современные механизмы взаимодействия человека внутри экономической системы динамично меняются, что обусловлено развитием научно-технического прогресса, перехода к новым формам занятости, спорадическим и системным изменениям во всех сферах жизнедеятельности. В подобных условиях внедрение актуальных механизмов управления промышленного развития является приоритетной задачей государства.

Совершенствование управления промышленными системами предполагает непрерывную модернизацию аналитического инструментария с

целью повышения его точности и быстродействия. Обеспечение промышленного развития в современных условиях неразрывно связано с наращиванием научной активности, актуализации современных технологий и их внедрением [92]. Вместе с тем, можно выделить ряд культурных и инфраструктурных (в том числе институциональных) барьеров на пути цифровой трансформации [29].

Исследования, посвященные проблемам развития социально-экономических систем в условиях цифровой трансформации, составляют значительный объем научной литературы. В [135] анализируются концептуальные основы, механизмы и инструменты развития, а также модели взаимодействия сложных экономических систем в контексте цифровизации. В монографии [133] приведены ключевые проблемы функционирования предприятий в цифровой экономике, представлены теоретические подходы и концепции, аналитические обзоры, практические решения в конкретных сферах и отраслях экономики.

В работе В. Я. Захарова, В. Г. Фролова и О. В. Трофимова проведен обзор результатов последних исследований о тенденциях и методах цифровой трансформации в крупных предприятиях промышленности [62]. Авторами сделан вывод о том, что у таких предприятий появляются новые функции, среди которых можно отметить формирование широких экосистем, постоянную внутреннюю трансформацию с целью устойчивого развития— а также поддержание оптимального сочетания людей и машин в цифровом пространстве.

В монографии [156] изложены аспекты устойчивого развития производственных систем в условиях цифровой трансформации, идентифицированы ключевые направления цифровизации промышленности как фактора устойчивого развития производственных систем, исследованы вопросы управления знаниями в условиях цифровизации, разработан механизм устойчивого развития, а также представлены результаты

моделирования экономических процессов с помощью нейросетевых технологий.

В исследовании, проведенном В. В. Акбердиной и С. Г. Пьянковым, рассматривается эволюция приоритетов Российской Федерации в области цифровых технологий. В работе формулируется научная гипотеза, касающаяся целесообразности интеграции процессного, технологического и отраслевого подходов, что способствует формированию индустриальной экосистемы на основе платформенной организации промышленного производства. Авторы предлагают определение цифровой платформы в промышленности, классифицируют типы цифровых промышленных платформ и обосновывают преимущества, возникающие в результате платформенной организации промышленного комплекса [9].

В работе К. В. Екимовой представлены ключевые аспекты современной дискуссии о возможностях и угрозах цифровой трансформации. Автором показано, что цифровая экономика значительно воздействует на эффективность современного управления, а внедрение новых технологий управления несет в себе потенциал создания стоимости [58].

В работе Е. А. Малышева рассмотрены вопросы современного состояния и перспектив развития цифровизации экономических процессов в промышленности, сделана оценка эффективности протекающих процессов, обоснована значимость цифровизации экономических процессов промышленных предприятий [103].

В статье И. Г. Головцовой рассмотрены аспекты осуществления цифровой трансформации в организациях, включая стратегические направления и задачи развития, использование человеко-центрированного подхода к управлению [46].

В статье П. В. Коваленко, И. М. Баркова и И. Г. Ершовой показано значение цифровых технологий в целом в экономике и в развитии экономики региона, рассмотрена сущность процесса цифровизации. Кроме этого,

определена роль цифровизации в социально-экономической системе региона [72].

В работе Г. Б. Клейнера предложена сбалансированная концепция поступательно-циклического развития цифровой экономики в контексте цифровизации общественных процессов. Дан прогноз развития цифровой экономики, согласно которому завершающей стадией цифрового века станет распространение интеллектуальной экономики [71].

Таким образом, цифровая экономика — это форма организации экономической деятельности, базирующаяся на цифровых технологиях и реализуемая через цифровые платформы, облачные сервисы, сетевой бизнес и электронную коммерцию [39]. В современных условиях она охватывает практически все сектора народного хозяйства [167]. Поэтому в период существенного воздействия процессов цифровой трансформации на экономические процессы, функционирование социально-экономических систем требует комплексного исследования [38]. Стремительные темпы цифровизации обуславливают необходимость формирования новых и адаптации существующих подходов в управлении на всех иерархических уровнях [47]. В преддверии разработки таких подходов целесообразно проводить мониторинг текущего состояния отечественных отраслей народного хозяйства в аспекте цифровой трансформации. Под мониторингом развития отраслей экономики можно понимать процесс непрерывного контроля их функционирования, динамики изменения их состояния и выявления тенденций развития (прогнозирование) [94].

Далее представим анализ цифрового развития отраслей экономики РФ [111]. В рамках исследования использовалась система индикаторов и их пороговых значений, представленных в таблице 1.3.

Индикатор *доли организаций с фиксированным широкополосным доступом к сети интернет* позволяет определить уровень развития цифровой инфраструктуры и выступает важной метрикой цифрового развития.

Пороговый уровень индикатора в исследовании был установлен на отметке более 80%.

Таблица 1.3.

Система индикаторов и их пороговых значений для анализа цифрового развития отраслей экономики РФ

Индикатор	Пороговое значение
Доля организаций, имеющих фиксированный широкополосный доступ к сети интернет, %	$\geq 80\%$
Индекс использования цифровых технологий, %	$\geq 15\%$
Индекс использования программных средств, %	$\geq 35\%$
Индекс использования средств защиты информации, %	$\geq 50\%$

Источник: [114].

Индекс использования цифровых технологий рассчитывается как среднее арифметическое значения показателей, отражающих долю использования разнообразных цифровых технологий в организациях. К таким технологиям относятся: облачные сервисы, интернет вещей, большие данные, промышленные роботы, геоинформационные системы, цифровые платформы, технологии искусственного интеллекта и др. Индекс инкапсулирует разнообразные аспекты цифровой трансформации и выступает метрикой оценки и компаративного сопоставления цифрового развития социоэкономических систем. Пороговое значение индикатора зафиксировано на уровне более 15%.

Индекс использования программных средств отражает степень задействования цифровых решений для автоматизации бизнес-процессов в организациях и находится путем расчета среднеарифметического значения

показателей, характеризующих долю использования предприятиями разнообразных программных решений, к которым относятся электронный документооборот, технологии электронных финансов и др. Пороговое значение зафиксировано на уровне более 35%.

Индекс использования средств защиты информации показывает степень практического использования средств защиты данных и рассчитывается как среднее арифметическое показателей, отражающих долю использования программных решений в сфере информационной безопасности. К таким решениям относятся средства шифрования, электронная цифровая подпись, спам-фильтры, системы обнаружения вторжений, обновляемые антивирусные программы, аппаратные и программные решения по предотвращению несанкционированного доступа, а также программное обеспечение автоматизации мониторинга защищенности компьютерных систем. Пороговое значение зафиксировано на уровне более 50%.

Выбор пороговых уровней для указанных показателей осуществлялся с использованием различных методик — таких, как международные сопоставления и экспертные заключения. Эти пороги могут быть пересмотрены и обновлены со временем.

На рисунках 1.2-1.5 дано распределение отраслей народного хозяйства по индикаторам цифрового развития (2021 год). Информация о значениях показателей получена из статистических сборников [65, 170]. Пороговые значения обозначены вертикальной пунктирной линией.



Рисунок 1.2. Доля организаций, имеющих фиксированный широкополосный доступ к интернету, %

Источник: составлено автором.



Рисунок 1.3. Индекс использования цифровых технологий, %

Источник: составлено автором.



Рисунок 1.4. Индекс использования программных средств, %

Источник: составлено автором.



Рисунок 1.5. Индекс использования средств защиты информации, %

Источник: составлено автором.

Анализ гистограмм (рисунки 1.2-1.5) позволяет сделать следующие выводы.

1. Говоря о комплексной картине по исследуемым индикаторам, можно констатировать, что во многих отраслях значения показателей значительно удалены от своих пороговых уровней.

2. Для индикатора обеспеченности фиксированным широкополосным доступом к сети интернет можно зафиксировать ровное распределение показателей по отраслям. Тем не менее, лишь две исследуемые отрасли (отрасль информационных технологий, а также здравоохранения и других социальных услуг) превысили пороговый уровень. В наибольшей степени отстает от порога отрасль строительства.

3. По значению индекса цифровых технологий пороговое значение превышают отрасли здравоохранения и других социальных услуг, обрабатывающей промышленности, информации и связи, информационных технологий. Остальные сферы народного хозяйства пока расположены ниже порогового уровня. К аутсайдерам по данному индексу можно причислить сферы строительства и науки.

4. Индекс использования программных средств превысил пороговое значение в отраслях здравоохранении и социальных услугах, обеспечения энергией, информационных технологий, информации и связи, обрабатывающей промышленности. В прочих анализируемых отраслях народного хозяйства значение индикатора расположено ниже порогового уровня.

5. По индексу использования средств защиты информации порог превысили отрасли информационных технологий, информации и связи, обрабатывающей промышленности и обеспечения энергией. Остальные отрасли пока находятся ниже порогового уровня по значению данного индикатора.

6. Наиболее неблагоприятное положение в плане удаленности от порогового значения по совокупности анализируемых индексов

демонстрируют отрасли строительства, научных исследований и разработок, а также добычи полезных ископаемых. Наилучшие значения по спектру исследуемых показателей зафиксированы по отраслям информационных технологий, обрабатывающим производствам, а также в сфере здравоохранения.

Несмотря на активизацию в сфере цифровой трансформации, достижения в этой области во многих отраслях экономики пока остаются незначительными [111]. Данный факт формирует множество барьеров для роста эффективности деятельности хозяйствующих субъектов.

Таким образом, на современном этапе все бóльшую актуальность приобретают вопросы цифровизации производственных процессов, поскольку цифровая глобализация оказывает серьезное влияние на хозяйственную деятельность производственных систем [77]. Возникают новые требования к эффективным концепциям функционирования и управления производственными системами [89]. Для внедрения цифровых технологий на производстве требуется переосмысление всей системы управления, что неизбежно приводит к необходимости выработки комплекса мер по решению проблем, выявленных в процессе внедрения [38]. Сложные производственные системы включают в себя широкий спектр элементов и подсистем, функционирующих совместно для достижения общих целей производства.

Представим некоторые особенности управления производственными системами в период цифровой трансформации. Состав и структура производственных систем во многом определяется содержанием производственного процесса. Данный процесс формируется исходя из конструктивно-технологических параметров производства, состава технологического оборудования, технико-экономических характеристик принятого организационного и конструктивно-технологического решения, темпов производства и уровня его автоматизации. На практике создаются разнообразные сложные производственные системы, которые отличаются по

своему назначению, компонентам, степени автоматизации основных и вспомогательных операций, способу управления и уровню организации причинно-следственных связей внутри подсистем и между ними.

В период цифровой трансформации управление сложными производственными системами имеет несколько ключевых особенностей. Ниже приведены некоторые из них.

1. Цифровая трансформация базируется на *внедрении новейших цифровых технологий* (интернет вещей, облачные вычисления, искусственный интеллект, аналитика данных и др.). Их использование позволяет осуществлять сбор, анализ и использование значительных объемов информации с целью принятия обоснованных оперативных решений и оптимизации производственных процессов.

2. В период масштабной цифровизации техносферы, появилась возможность к более *эффективной коммуникации и сотрудничеству* между участниками производства, быстрой передачи данных и поиска совместных решений проблем.

3. Цифровые преобразования поспособствовали созданию *гибких и адаптивных производственных систем*, которые способны в оперативном режиме реагировать на изменения рыночных потребностей. Сегодня производственные системы могут быть перенастроены и перепрофилированы без больших финансовых ресурсов и задержек в производстве.

4. Внедрение актуальных цифровых технологий способствует *автоматизации и оптимизации производственных процессов*.

5. В условиях цифровой трансформации необходимо *перманентное развитие и обучение кадров*.

В процессе цифровой трансформации производственные системы — помимо специфики управления — сталкиваются с рядом системных трудностей, среди которых выделяются:

— ограниченность навыков у руководителей и специалистов в сфере

цифровой трансформации;

- отсутствие новых стандартов и несогласованность существующих систем стандартизации, проблемы с интеграцией старых и новых технологий;
- недостаточная скорость доступа промышленных предприятий к высокоскоростному интернету;
- устаревшая система организации управления на промышленных предприятиях;
- несогласованность между информационными системами, используемыми на промышленных предприятиях;
- необходимость управления изменениями в организационной культуре, процессах и ролях сотрудников, возможное сопротивление со стороны персонала;
- необходимость обеспечения безопасности данных, включая защиту конфиденциальности и целостности информации;
- несоответствие организационных форм в промышленности с требованиями современной экономики;
- недостаток доступных современных технологий, неэффективный процесс их передачи из сферы научных исследований в практическую реализацию;
- недостаточное участие в глобальной инновационной системе и международной системе разделения труда;
- различные структуры и виды промышленных секторов, а также различие между частным и государственным секторами;
- ограниченность финансовых ресурсов для организации процесса цифровой трансформации и др.

Надлежащее управление сложными производственными системами в период цифровой трансформации требует адекватных мер по нивелированию названных проблем. Кроме проблем и особенностей управления, представим ключевые преимущества и недостатки цифровой трансформации в контексте

управления сложными производственными системами (таблица 1.4).

В условиях современных реалий организации обязаны анализировать текущие глобальные процессы цифровизации, а также актуальные структуры и методы управления. Это позволяет выявить и устранить проблемы, возникающие при внедрении цифровых технологий, и минимизировать недостатки в управлении сложными производственными системами. Следует подчеркнуть, что процесс переосмысления и разработки мер должен носить итеративный и постоянный характер. Цифровая трансформация является непрерывным процессом, и по мере развития технологий и изменения внутренних и внешних условий организациям нужно будет адаптировать свои системы управления и меры по устранению проблем.

Таблица 1.4.

Преимущества и недостатки управления сложными
производственными системами в условиях цифровизации

Преимущества	Недостатки
1. Повышение оперативности и координации управления.	1. Значительные затраты на внедрение цифровых инструментов управления
2. Увеличение эффективности и производительности	2. Увеличение риска сбоев ввиду роста сложности системы
3. Сокращение числа иерархических уровней управления	3. Недостаток квалифицированных специалистов
4. Повышение прозрачности функций и процессов управления	4. Целесообразность постоянного совершенствования информационных систем
5. Улучшение качества и контроля производства	

Источник: составлено автором.

Предварительное моделирование цифровой трансформации позволит предприятию рассчитать экономический эффект от ее внедрения, выявить изменения во взаимоотношениях с его партнерами и конкурентами, влияние этих изменений на динамику рыночной стоимости ресурсов и готовой продукции [122].

На наш взгляд, совершенствование систем управления производственными системами в условиях цифровой трансформации

необходимо по ряду обоснованных причин. Во-первых, цифровые технологии позволяют повышать эффективность производства, сокращать временные затраты и снижать издержки, а эффективное управление в цифровой среде способствует росту конкурентоспособности. Во-вторых, системы управления должны быть способны адаптироваться к быстро меняющимся условиям рынка и внутреннего производства. Цифровые технологии дают такую гибкость в части настройки и масштабирования систем управления. В-третьих, цифровые инструменты позволяют проводить анализ данных в реальном времени и учитывать разнообразные факторы и параметры. В-четвертых, цифровые технологии обеспечивают более тесную интеграцию различных компонентов производственной системы, создавая связанные цифровые экосистемы. Это во многом способствует более эффективному взаимодействию между различными уровнями управления. В-пятых, системы управления могут включать в себя механизмы для обеспечения кибербезопасности и управления рисками в цифровой среде, что крайне важно в современных условиях. Наконец, цифровые технологии способствуют улучшению управления цепочками поставок и логистикой, что важно для обеспечения бесперебойного производства и своевременной поставки продукции. Вместе с тем, можно отметить следующие риски [179]:

- вытеснение физического труда;
- цифровое неравенство;
- увеличение киберпреступности;
- зависимость экономических субъектов от интернета;
- отставание образовательной системы от требований цифровой экономики;
- сокращение возможностей реализации протекционистских мер для защиты национальных производителей и импортозамещения;
- наднациональный характер цифровой экономики и формирование сетевого глобального рынка товаров и услуг;

- олигополизация в информационном секторе;
- получение компаниями значительных преимуществ перед потребителями за счет применения современных технологий анализа больших данных;
- уменьшение возможностей государственного контроля над цифровой экономикой.

Таким образом, совершенствование систем управления производственными системами в контексте цифровой трансформации является стратегически важным шагом для обеспечения устойчивого и успешного функционирования процессов производства.

Выводы по главе 1

В первой главе диссертационного исследования представлены некоторые теоретические аспекты управления производственными системами в условиях цифровой трансформации.

В первом параграфе главы дан обзор отечественного и зарубежного опыта управления производственными системами, который показал, что на сегодняшний день у промышленных систем отсутствует единая система механизмов и инструментов управления, а методические аспекты менеджмента производственными системами с использованием искусственного интеллекта представлены недостаточно.

Второй параграф первой главы посвящен обзору научных исследований, посвященных тематике использования систем искусственного интеллекта в управлении производственными системами. В завершении параграфа сделан вывод о том, что в современных хозяйственных реалиях методы искусственного интеллекта играют важную роль в управлении производством, так как они решают задачи оптимизации хозяйственных процессов — что способствует росту экономической и технологической эффективности систем,

а также, наряду с традиционными методами, помогают в принятии решений.

В заключительном параграфе первой главы дано обоснование целесообразности совершенствования подходов к управлению производственными системами в условиях цифровизации. Анализ состояния отечественных отраслей экономики по индикаторам цифрового развития показал, что, несмотря на активизацию в сфере цифровой трансформации, достижения в данной сфере пока незначительны. Также в рамках параграфа представлены некоторые особенности и проблемы управления производственными системами в период цифровой трансформации. К таким особенностям отнесены: масштабная интеграция информационных технологий, развитие коммуникации и сотрудничества предприятий, применение гибких и адаптивных подходов в управлении, автоматизация и оптимизация производственных систем, обучение и развитие персонала. Изложены преимущества и недостатки управления сложными производственными системами в условиях цифровизации.

В заключении главы можно сделать вывод о том, что современные методы и модели управления производственными системами нуждаются в применении современных информационных технологий для оптимизации процессов производства. В рамках цифровой трансформации особое внимание целесообразно уделять использованию методов искусственного интеллекта. Их задействование призвано повысить эффективность и адаптивность производственных систем, дает возможность оперативного реагирования в условиях турбулентной среды.

ГЛАВА 2. УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

2.1. Концептуальная модель управления производственными системами в условиях цифровой трансформации

На современном этапе развития глобального информационного общества активно формируется новый вид экономики, связанный с повсеместной цифровизацией хозяйственных процессов. В результате этого экономические операции становятся более цифровыми, а информационные технологии проникают во все сферы деятельности. В связи с этим возникают новые требования к тому, как организации могут получать конкурентные преимущества и эффективно функционировать.

Очень важными становятся вопросы управления производственными системами в условиях информатизации и цифровизации — а также необходимости адаптации их деятельности к новым принципам цифровой экономики, прогнозировании возможных проблем и разработке решений для минимизации отрицательных последствий. Оценка развития систем управления в условиях развития промышленности и формирования единого цифрового пространства требуют отдельного внимания [73].

Целью данного параграфа диссертации является разработка концептуальной модели управления производственными системами в условиях цифровой трансформации.

Для достижения большей эффективности в управлении необходимо внедрять методы моделирования, начиная с создания концептуальной модели, обобщающей и концептуализирующей сложную систему. Такой подход способствует повышению объективности при принятии решений и улучшению управления в социально-экономических системах. Руководителям

концептуальные модели предоставляют возможность анализировать факторы внешней и внутренней среды, разрабатывать стратегии, оценивать рыночные условия и устанавливать цели организации.

Концептуальная (содержательная) модель устанавливает причинно-следственные связи, описывает структуру и характеристики элементов системы, необходимые для достижения целей моделирования [197]. Она формируется после обобщения всей системы и обычно представляется на уровне абстракции, который увеличивается с ростом сложности системы [86]. При этом чем сложнее система, тем выше должен быть уровень абстракции [28].

Концептуальные модели часто имеют ограничения и допущения, которые применимы только к конкретным условиям функционирования системы. Однако использование концептуального моделирования как первоначальной итерации при принятии решений может повысить адекватность управления.

Требования к концептуальным моделям включают использование системного подхода для комплексного изучения взаимосвязей процессов, применение принципа обратной связи для учета информации от элементов модели, а также способность к адаптации и оперативной реакции на изменения внутренней и внешней среды. Модели должны обеспечивать контроль процесса моделирования, основываться на достаточном объеме исходной информации и гарантировать единство управленческих задач в рамках отрасли.

Производственной системой является комплексный объект (предприятие в целом, его организационное подразделение, группа или комплекс оперативных функций). Под сложной можно понимать систему, в модели которой не хватает информации для эффективного управления [129].

Состав и структура производственной системы определяются прежде всего содержанием производственного процесса — который, в свою очередь,

формируется на основе конструктивно-технологических параметров производства, состава технологического оборудования, технико-экономических показателей и др. Современные модели управления сложными производственными системами включают в себя:

1. *Модель управления цепями поставок.* Базируется на координации и интеграции всех стадий производственного процесса и позволяет снижать логистические затраты, эффективно управлять запасами, повышать уровень обслуживания и др.
2. *Модель управления качеством.* Основана на системном подходе, направлена на обеспечение высокого качества продукции.
3. *Модель управления промышленной безопасностью.* Ставит своей целью защиту работников и предотвращение несчастных случаев и содержит разнообразные стандарты, процедуры и контроль безопасностью.
4. *Модель управления энергоэффективностью.* Направлена на нивелирование отрицательного воздействия на окружающую среду и эффективное использование энергии.
5. *Модель управления инновациями.* Нацелена на стимулирование и управление инновационными процессами.

Представленные выше модели способствуют росту эффективности, сокращению затрат, обеспечению качества и безопасности сложных промышленных систем, а также стимулированию инноваций и устойчивого развития организаций.

Перед рассмотрением модели управления производственными системами в условиях цифровой трансформации нам видится целесообразным привести особенности такого управления [89]. К ним можно отнести:

- управление процессами с использованием автоматизированных технологий для обработки, анализа и прогнозирования больших объемов данных;
- получение и обработка данных в режиме реального времени;

- быстрое принятие решений, гибкость и способность реагировать на изменения в технологической среде и требованиях рынка;
- активная интеграция информационных технологий;
- взаимодействие с интерактивной средой и быстрая реакция на изменения;
- фокусировка на индивидуальных пользователях;
- создание цифровой экосистемы;
- трансформация корпоративной культуры и развитие новых навыков.

Управление производственными системами в условиях цифровизации требует стратегического подхода, гибкости и способности адаптироваться к изменяющейся среде, что открывает новые возможности для повышения эффективности, инноваций и достижения конкурентных преимуществ.

Далее приведем модель управления производственной системой. В отличие от большинства существующих моделей (которые полагаются либо только на мнения экспертов, либо только на автоматизированные системы), авторская модель предлагает гибридный подход, в котором управленческие решения принимаются как специалистами, так и системами на базе искусственного интеллекта. Такой симбиоз позволяет объединять экспертные знания с высокими вычислительными возможностями технологий искусственного интеллекта, учитывать человеческий фактор и точные аналитические данные, основанные на объективных показателях, моделях и алгоритмах.

Авторская модель управления производственными системами представлена на рис. 2.1. Концептуально, она включает три основных блока:

- блок анализа и формализации;
- блок, отвечающий за прогнозирование функционирования системы;
- цифровую экосистему, поддерживающую современные стандарты

управления.

Каждый из блоков используется для решения широкого класса задач управления.

Первый блок направлен на *анализ текущего состояния производственных систем и формализацию данных*, необходимых для последующих этапов управления. В его рамках осуществляются следующие ключевые действия:

- систематизация и сбор информации о текущих процессах, ресурсах и показателях производительности;
- обработка и формализация, что позволяет подготовить их для дальнейшего анализа и принятия решений.

Таким образом, блок анализа и формализации служит основой для последующих этапов, обеспечивая информационную базу для принятия управленческих решений.

Блок прогнозирования направлен на моделирование будущего состояния производственных систем. Он включает следующие элементы:

- моделирование (используются математические модели для предсказания изменений на основе исторических данных);
- оценка рисков и неопределенностей, связанных с различными сценариями развития событий.

Блок прогнозирования способствует выработке стратегий управления, адаптированных к будущим изменениям, позволяет обеспечить оперативную реакцию на потенциальные угрозы и возможности.

Цифровая экосистема выступает как интеграционная платформа для оперативной поддержки принятия решений. Механизм интеграции программных продуктов в управлении производственной системой основан на единой цифровой платформе, которая объединяет различные решения через стандартизированные интерфейсы. Технологии искусственного интеллекта обрабатывают информацию для формирования управленческих решений. База

знаний представляет собой структурированное хранилище данных, информации и знаний, включая сырые данные, аналитические отчеты и экспертные мнения. Она поддерживает принятие решений, интегрируя данные с искусственным интеллектом для оптимизации процессов и прогнозирования изменений.

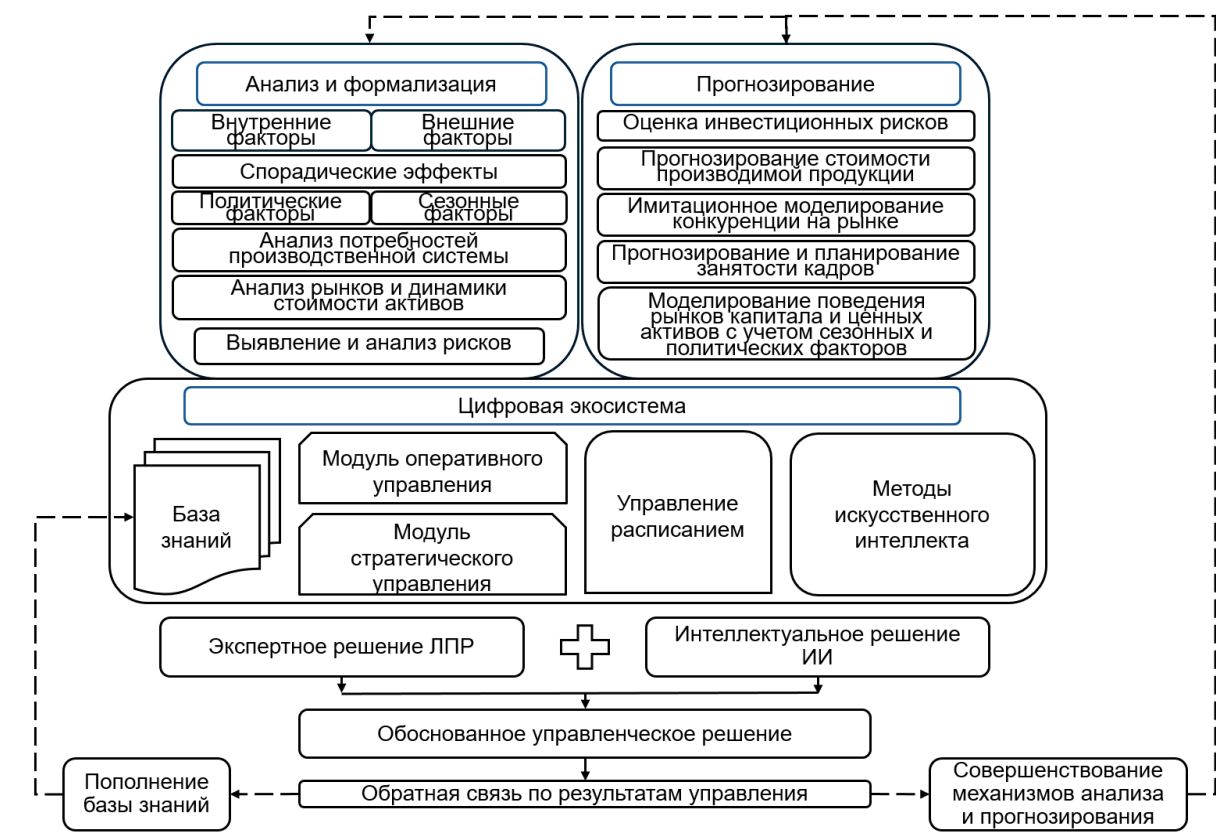


Рисунок 2.1. Модель управления производственными системами в условиях цифровой трансформации
Источник: составлено автором.

Пошаговая процедура принятия решения на основе гибридного подхода может быть следующей:

1. *Определение проблемы или цели* (идентификация проблемы, четкое определение ожидаемых результатов и критериев успеха).
2. *Сбор данных* (систематизация внутренних данных, анализ внешней среды, вовлечение экспертов).
3. *Анализ данных* (выявление закономерностей в данных, прогнозирование последствий различных сценариев, анализ экспертных мнений).

4. *Формирование альтернативных решений* (генерация вариантов, оценка альтернатив).

5. *Применение технологий* искусственного интеллекта (использование систем искусственного интеллекта для обработки данных, применение машинного обучения для предсказания результатов, решение задачи оптимизации).

6. *Сравнение и выбор оптимального решения* (сравнение альтернатив, применение многокритериального анализа, обсуждение результатов с экспертами).

7. *Реализация решения* (разработка плана внедрения решения, вовлечение заинтересованных сторон).

8. *Мониторинг и оценка результатов* (мониторинг ключевых показателей, выявление расхождений между ожидаемыми и фактическими результатами, при необходимости внедрение корректирующих мер).

9. *Обратная связь и обучение* (оценка процесса принятия решений, формирование рекомендаций).

Результатом реализации представленной модели является набор количественно обоснованных и верифицированных с применением искусственного интеллекта управленческих решений, которые учитывают ключевые факторы производственной деятельности, прогнозируют будущие изменения и обеспечивают оперативную поддержку управления в условиях неопределенности.

Отдельного рассмотрения требуют системы искусственного интеллекта, применяемые в производственных системах, поскольку в настоящее время они, на наш взгляд, наименее методически проработаны в профильной научной литературе. В дальнейшем в диссертации приводится более детальное изучение этих систем (включая их классификацию в задачах управления производственными системами, а также процедуру управления, обеспечивающую непрерывное управление производственными процессами).

Также рассматривается модель диагностики производственных систем с использованием искусственного интеллекта и методика комплексной оценки эффективности их функционирования в условиях цифровой трансформации.

2.2. Классификация систем искусственного интеллекта в задачах управления производственными системами

Цифровая экономика и искусственный интеллект значительно воздействуют на социально-экономическое развитие современного мирового хозяйства [169]. В настоящее время существует множество технологий и методов искусственного интеллекта (что актуализирует задачу определения ключевых областей и границ их применения), а также выявления особенностей и ограничений использования [144].

В данном параграфе сформирована авторская классификация систем искусственного интеллекта, применяемых в менеджменте производственных систем. В преддверии разработки такой классификации целесообразно выделить основные направления развития искусственного интеллекта. К ним можно отнести [36]:

1. *Системы распознавания речи.* Позволяют машинам воспринимать и интерпретировать человеческую речь, что улучшает взаимодействие пользователя с системами.
2. *Технологии машинного обучения.* Обучаются на основе данных и делают прогнозы без явного программирования.
3. *Экспертные системы.* Имитируют способность человека принимать решения на основе специализированных знаний.
4. *Компьютерное зрение.* Позволяет «видеть» и анализировать визуальную информацию.
5. *Обработка естественного языка.* Технология, позволяющая

компьютерам понимать, интерпретировать и генерировать текст на человеческом языке.

6. Робототехнические системы. Сочетают механические устройства с искусственным интеллектом для выполнения реальных задач.

Рассмотрим их более подробно.

Машинное обучение представляет собой одну из составляющих искусственного интеллекта, являясь ключевым направлением в его области. Основной принцип этого подхода заключается в том, что системы получают определенные данные на входе и проходят через процесс обучения на основе этих данных. С учетом современных реалий машинное обучение рассматривается как наиболее перспективный инструмент в науке и практике, в основе которого лежат технологии искусственного интеллекта.

По способу обучения методы машинного обучения, подразделяется на два типа: обучение с учителем и без учителя. Машинное обучение с учителем представляет собой подход к обучению моделей, при котором алгоритм проходит на размеченных данных, где для каждого примера обучающей выборки известен соответствующий выходной параметр или метка [212]. Основная идея заключается в том, чтобы научить модель прогнозировать выходные параметры для новых, ранее не виденных данных. В задачах машинного обучения с учителем выделяют два основных типа задач: классификация и регрессия. Машинное обучение без учителя [207] — подход, при котором алгоритм обучается на неразмеченных данных, то есть на данных, где нет заранее заданных выходных меток или целевых переменных. Модель ищет внутренние закономерности, структуры или паттерны в данных. В литературе выделяется еще одна разновидность машинного обучения, известная как обучение с подкреплением [216]. Этот метод предполагает, что модель обучается без предварительной информации о системе, но способна выполнять определенные действия в этой системе. После совершения действий система переходит в новое состояние, и модель получает

вознаграждение от системы.

Одно из базовых направлений в области машинного обучения — это *глубокое обучение*, которое использует нелинейные преобразования и специализированные математические модели для анализа больших баз данных [190]. С 2012 года данный подход активно реализуется с применением графовых моделей, состоящих из взаимосвязанных искусственных нейронов, структурированных в несколько слоев. Разработка и использование искусственных нейронных сетей для решения вычислительно сложных задач стало одним из ведущих направлений в эволюции систем искусственного интеллекта.

В методах глубокого обучения выделяются: глубокие нейронные сети с прямым распространением, передающие информацию от входа к выходу с полными связями между слоями, и сверточные нейронные сети, оптимизированные для распознавания образов; рекуррентные нейронные сети, предназначенные для обработки естественного языка; сиамские нейронные сети, используемые для выявления семантических сходств; графовые нейронные сети, которые решают задачи построения рекомендательных систем и др.

Область *систем обработки естественного языка* является разделом искусственного интеллекта и математической лингвистики, которая занимается анализом больших объемов неструктурированных данных. В этом секторе можно выделить различные технологии — такие, как машинный перевод текстов, системы извлечения данных, вопросно-ответные системы, методы выявления эмоциональной окраски в текстах, генерация текстов по заданной тематике, а также системы, направленные на выявление наиболее значимых тем в текстовых массивах, и другие [147].

Компьютерное зрение — это обширная междисциплинарная область, которая включает в себя множество задач, включая распознавание образов [15]. Данная задача направлена на классификацию перечня объектов на однородные

классы. В области компьютерного зрения выделяются три ключевые группы методов распознавания образов: статистические методы, фотограмметрия и методы сравнения с образцом, а также искусственные нейронные сети.

Экспертные системы созданы для частичной (или полной) автоматизации профессиональных сфер, заменяя необходимость в человеческих экспертах. Эти системы опираются на заранее сформированную базу знаний и применяют различные методы для ее представления, включая продукционные модели, семантические сети, фреймы и формально-логические подходы. При создании экспертных систем значительное внимание уделяется анализу неопределенности данных с применением методов нечеткой логики [36].

Системы распознавания речи представляют собой технологии, которые преобразуют аудиосигналы речи в текстовый формат. Современные системы имеют возможность обучаться индивидуальным особенностям произношения конкретного пользователя, что повышает точность распознавания. Распознавание голоса является частью этой технологии и основано на многоуровневом процессе обработки и анализа аудиосигналов с использованием искусственных нейронных сетей [154].

Робототехника начала свое развитие с момента зарождения идеи создания технических систем, способных к самообучению [67]. Это объединение различных технологий, схемотехники и искусственного интеллекта, где ключевой особенностью выступает автономность роботов-агентов.

Представленные выше направления искусственного интеллекта не являются исчерпывающими, также они пересекаются и дополняют друг друга. Далее можно составить краткое сравнение направлений искусственного интеллекта в задачах менеджмента (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1.

Особенности использования методов искусственного интеллекта в менеджменте

Технология искусственного интеллекта	Область применения	Преимущества	Недостатки
Машинное обучение	Прогнозирование трендов, оптимизация бизнес-процессов, анализ данных клиентов и принятие решений	Повышение эффективности, улучшение прогнозирования и автоматизацию	Сложности с интерпретацией результатов и необходимость больших объемов данных для обучения
Обработка естественного языка	Анализ текстовых данных, автоматизация процессов общения с клиентами, создание интеллектуальных ассистентов и мониторинг обратной связи	Улучшение взаимодействия с клиентами и автоматизацию задач обработки текста	Сложности в точности анализа и необходимость большого объема данных для обучения моделей
Компьютерное зрение	Автоматизация процессов мониторинга, контроля качества, распознавания объектов и анализа изображений	Повышение эффективности, точности и скорости выполнения задач	Сложность настройки и необходимость большого объема данных для обучения моделей
Экспертные системы	Автоматизация принятия решений, анализа данных, консультирования и обучения персонала, слабо структурируемые предметные области	Возможность расширения, повышение качества принимаемых решений, экономия времени и ресурсов, а также сохранение и передачу экспертного знания	Зависимость качества решения от исходной базы знаний, ограничения в области применения из-за необходимости четкой формализации знаний и сложность поддержки и обновления системы.
Системы распознавания речи	Автоматизация коммуникации, создание голосовых интерфейсов, транскрибация аудио и мониторинг разговоров	Повышение эффективности, улучшение доступности и скорости обработки информации	Ограниченная точность распознавания в шумных условиях и сложности с адаптацией к различным голосам и акцентам
Робототехнические системы	Автоматизация производственных процессов, складская логистика, обслуживание клиентов и управление инфраструктурой	Повышение эффективности, точности и скорости выполнения задач, а также снижение рисков для персонала	Высокие затраты на внедрение и обслуживание, а также ограничения в функциональности и сложности программирования

Источник: составлено автором с использованием [144].

Сегодня системы искусственного интеллекта находят широкое

применение в задачах управления и принятия решений. Однако в научной литературе нет унифицированных подходов к выбору наиболее оптимальных технологий искусственного интеллекта в конкретных сценариях управления производственными системами.

В рамках диссертационного исследования предложена авторская классификация систем искусственного интеллекта в задачах управления производственными системами (табл. 2.2) [75]. Системы искусственного интеллекта систематизированы по следующим основаниям: степень автономности, степень автоматизации, архитектурному принципу, сфере применения, функциям в контуре управления, специализации систем, комплексности и сложности систем, методам обработки информации, типу решаемых задач. Классификация разработана на основе национального стандарта РФ «Классификация систем искусственного интеллекта» (ГОСТ Р 59277-2020) [6]. Основное внимание уделено тем технологиям и критериям, которые наиболее часто применяются в промышленной сфере. Каждая позиция классификации может быть дополнительно детализирована как в соответствии с существующими стандартами, так и в соответствии с устоявшейся практикой.

Таблица 2.2.

Классификация методов искусственного интеллекта в задачах
управления производственными системами

Классы	Потребности и задачи менеджмента	Пример использования
1. По степени автономности		
1.1. Автономные системы	Снижение операционных затрат, минимизация ошибок	Автономные роботы для транспортировки сырья
1.2. Встроенные системы	Управление оборудованием для улучшения стабильности и качества	Встроенные контроллеры для регулирования производства
1.3. Гибридные системы	Совмещение автоматизации и ручного контроля	Гибридная система, человек контролирует сложные операции

2. По степени автоматизации		
2.1. Автоматизированные системы	Увеличение производительности за счет автоматизации процессов	Автоматизированная сборка компонентов, что сокращает время на производство
2.2. Автоматические системы	Исключение человеческого фактора для повышения качества и стабильности	Автоматическая система дозирования химических веществ
3. По архитектурному принципу		
3.1. Централизованные системы	Упрощение управления и оптимизация процессов для повышения эффективности	Единая система управления всеми производственными линиями
3.2. Распределенные системы	Гибкость и масштабируемость управления	Система распределенного управления для нескольких заводов
4. По сфере применения		
4.1. Логистика	Оптимизация логистических процессов	ИИ для планирования оптимальных маршрутов доставки
4.2. Качество и контроль производства	Автоматизация контроля качества	Компьютерное зрение для проверки дефектов на производственной линии
4.3. Энергетика и ресурсосбережение	Экономия ресурсов и сокращение затрат на энергопотребление	Система оптимизации энергопотребления в периодах низкой загрузки
5. По функциям в контуре управления		
5.1. Системы с обратной связью	Поддержание стабильных условий процесса	Система поддержания давления в технологических процессах
5.2. Системы реального времени	Мгновенная реакция на изменения	Управление процессами производства в реальном времени
5.3. Адаптивные системы	Подстройка под изменяющиеся условия	Настройка оборудования в зависимости от характеристик сырья для повышения эффективности
5.4. Системы идентификации и диагностики	Быстрое выявление проблем для снижения времени простоя и затрат на ремонт	Система диагностики, позволяющая сократить расходы на техническое обслуживание
5.5. Системы принятия решений	Ускорение принятия решений на основе данных	ИИ для оптимизации параметров производства
5.6. Системы прогнозирования	Прогнозирование тенденций для повышения планируемости и снижения рисков	Прогнозирование сроков выполнения заказов
6. По специализации систем		
6.1. Экспертные системы (управление знаниями)	Поддержка принятия решений на основе опыта	Принятие решений в кризисных ситуациях
6.2. Системы компьютерного зрения	Повышение качества продукции и снижение издержек на контроль	Выявление дефектов на конвейере
6.3. Промышленные роботы	Автоматизация рутинных операций	Промышленные роботы для сборки автомобилей

7. По комплексности и сложности систем		
7.1. Многоагентные системы	Оптимизация взаимодействия между компонентами системы для повышения эффективности	Управление взаимодействием роботизированных станций
7.2. Системы «Большие данные»	Анализ больших объемов данных для принятия обоснованных решений	Анализ данных для предсказания поломок, что минимизирует затраты на ремонт
7.3. Промышленный интернет вещей	Улучшение мониторинга и управление оборудованием для повышения эффективности	IoT-система для мониторинга состояния станков в реальном времени
7.4. Распределенные системы управления	Эффективное управление удаленными объектами	Система для управления несколькими удаленными производственными площадками
8. По методам обработки информации		
8.1 Методы машинного обучения	Оптимизация процессов на основе анализа данных для повышения эффективности	Использование машинного обучения для прогнозирования поломок оборудования
8.2 Эволюционные и генетические алгоритмы	Поиск оптимальных параметров процессов для повышения производительности	Применение генетических алгоритмов для оптимизации производственных процессов
8.3 Статистические и вероятностные методы	Принятие решений на основе анализа данных	Прогнозирование отказов оборудования
9. По типу решаемых задач		
9.1 Планирование и оптимизация	Эффективное распределение ресурсов для снижения затрат и повышения прибыли	Система планирования производственных мощностей
9.2 Мониторинг и управление	Обеспечение контроля за процессами для минимизации рисков и убытков	Система мониторинга состояния оборудования для предотвращения аварий и простоев
9.3. Анализ и прогнозирование	Прогнозирование и анализ данных для повышения стратегической гибкости	Прогнозирование спроса на продукцию для улучшения планирования производственных мощностей

Источник: составлено автором.

Следует отметить, что представленные в таблице основания классификации не являются взаимоисключающими. Выбор системы искусственного интеллекта для решения конкретной производственной задачи может осуществляться с учетом нескольких аспектов одновременно. На наш

взгляд, классификация систем искусственного интеллекта открывает возможность для разработки механизмов и процедур управления производственной системой с применением технологий искусственного интеллекта. Важно отметить, что предложенная классификация может быть адаптирована под конкретные задачи управления предприятиями на разных стадиях цифровой трансформации.

2.3. Процедура управления производственными системами с использованием искусственного интеллекта

В диссертации предложена процедура управления производственной системой на основе авторской классификации. Идентификация наиболее выгодных приложений управляющих воздействий, несомненно, выступает трудоемкой задачей для принятия обоснованных управленческих решений. Для ее решения требуется разработка эффективной процедуры управления.

В настоящее время не существует единого подхода к процедурам управления производственными системами.

Так, в работе [202] представлена архитектура контролируемой производственной системы, которая позволяет эффективно использовать знания о процедурном контроле, обеспечивая модульность, гибкость, расширяемость и объяснительную способность. В исследовании [216] показано, что применение порогового правила контроля производства в двухступенчатых системах может значительно снизить уровни незавершенного производства, сохраняя необходимые вероятности занятости на последующих станциях, что достигается с помощью марковской модели для характеристики производительности.

Сравнение систем Push и Pull выявляет, что системы Push прогнозируют запасы на каждом этапе, в то время как системы Pull используют запасы,

пополняя их на основе норм потребления. Исследование [209] описывает возможности моделирования систем Pull для имитации колебаний производства и запасов.

Аналитические сравнения систем Kanban, CONWIP и Base-stock в многоступенчатых процессах показывают, что производительность этих систем зависит от структурных параметров — таких, как время обработки и количество карточек [210].

Использование имитационных испытательных стендов и программных архитектур позволяет провести бенчмаркинг различных подходов к управлению производством, выявляя их преимущества и ограничения [223]. Двухуровневая система управления производством, описанная в работе [188], может максимизировать пропускную способность и минимизировать задержки заказов в гибкой производственной системе, работающей в условиях производства на заказ.

Распределенные системы управления, рассматриваемые в статье [235], используют коммуникацию и встроенные системы, позволяя продуктам и ресурсам активно взаимодействовать, что способствует возникновению глобального поведения.

Современные методы — такие, как приближенное динамическое программирование в сочетании с искусственными нейронными сетями — могут разработать почти оптимальные стратегии управления производством и запасами для сложных систем с неопределенным спросом [239]. Также подходы, основанные на методах подкрепления обучения, показывают многообещающие результаты для создания адаптивных систем управления производством в сложных и динамичных средах [213].

Таким образом, процедуры управления производственной системой охватывают различные подходы, каждый из которых имеет свои сильные стороны и конкретные приложения. Управляемые производственные системы предлагают гибкость и модульность, в то время как двухступенчатые и

вытягивающие системы обеспечивают эффективное управление запасами. Сравнительный анализ на основе моделирования и управление в реальном времени в гибкой производственной системе подчеркивают важность адаптивности и оперативности.

В диссертации предложена циклическая процедура управления производственной системой, который представляет собой цикличную систему управления производственной системой на основе систем искусственного интеллекта (рис 2.2). На каждом этапе производственного цикла внедрение систем искусственного интеллекта обеспечивает улучшение качества принятия решений.



Рисунок 2.2. Процедура управления производственной системой на основе систем искусственного интеллекта
Источник: составлено автором.

Процедура базируется на применении различных систем и методов искусственного интеллекта для обеспечения оптимизации, что делает производственные процессы гибкими, эффективными и устойчивыми к изменениям. Цикл формирует непрерывный процесс оптимизации за счет постоянного сбора и анализа данных, что позволяет оперативно выявлять проблемы, адаптироваться к изменениям в производственной среде и вносить необходимые корректировки в процессы.

Заключительным этапом процедуры перед замыканием цикла управления выступает так называемое «проактивное управление». Термин «проактивность» активно используется в различных областях науки (таких, как управление персоналом и менеджмент), что приводит к множеству трактовок. Дж.В. Ньюстром и К. Дэвис в книге «Организационное поведение» определяют проактивность как способность предвидеть события и контролировать деятельность организации [121]. Х. Бреге отмечает, что проактивность проявляется в инициативе и стимулировании изменений [191]. Ли Чунхуи выделяет три ключевых аспекта проактивности: инициативу, предвидение и инновации [195]. М. Паласиос показывает, что проактивные компании активно экспортируют продукцию и строят стратегии на экспортных рынках [227]. А. Хименес-Зарко подтверждает необходимость сотрудничества между подразделениями и использование данных о рынке для проактивной ориентации [208]. Нгуен Тхань Лиен анализирует риски проактивного управления в условиях высокой рыночной концентрации [225]. Исследования показывают, что проактивные системы требуют планирования, взаимодействия между субъектами и использования ресурсов [215]. При проактивном подходе управление становится более самостоятельным благодаря внутренней мотивации [199].

В России проактивность развита недостаточно, что обусловлено менталитетом и социальными установками. Западные компании выбирают амбициозных кандидатов, в то время как в России такие качества могут

восприниматься негативно. Тем не менее, проактивные компании достигают больших успехов в бизнесе, и переход к проактивному управлению является актуальным для российских предприятий.

Примеры проактивного управления можно наблюдать в ГК «Росатом» и ФНС России. ГК «Росатом» реализует стратегию технологического развития, внедряя цифровизацию и упорядочение работы с партнерами [137]. ФНС России, благодаря цифровизации, создает новую практику реформирования с целью повышения прозрачности и эффективности на рынке зерна [76].

Процедура была успешно внедрена на ООО «Лазер-НН» — предприятии, специализирующемся на производстве металлических изделий «под ключ» для организаций машиностроительной отрасли. Пример применения данной процедуры на предприятии отражен в таблице 2.3.

Таблица 2.3.

Этапы процедуры управления производственными системами

Этап	Назначение	Пример применения на ООО «Лазер-НН Металлообработка»
Сбор данных	Установка сенсоров для уменьшения затрат на ручной сбор информации и повышения точности данных	Мониторинг износа и работы станков
Прогнозирование	Оптимизация управления ресурсами, планирование производства, обеспечение соответствия спроса и предложения	На основе анализа прошлых заказов ИИ помогает планировать загрузку станков и потребность в материалах
Оптимизация	Снижение операционных расходов и увеличение выпуска продукции	Изменения в графике производства для сокращения простоев
Внедрение систем управления качеством	Снижение затрат на брак и переработку, повышение удовлетворенности клиентов, что ведет к росту продаж	Выявление дефектов продукции на ранних стадиях производства

Окончание таблицы 2.3

Автоматизация	Сокращение трудозатрат и повышение эффективности, что позволяет оптимизировать расходы и направить средства на инновации	Автоматизация некоторых этапов обработки изделий с использованием роботизированных станков
Мониторинг	Оперативное выявление проблем, минимизация времени простоя, снижение затрат и улучшение экономической эффективности	Отслеживание параметров работы оборудования в реальном времени
Проактивное управление	Адаптация к изменениям для предотвращения сбоев и потерь	Прогнозирование износа оборудования, планирование техобслуживания

Источник: составлено автором.

Таким образом, примеры применения на предприятии, приведенные в таблице 2.3, демонстрируют, как каждая стадия процедуры способствует улучшению различных аспектов производственной деятельности, включая автоматизацию, мониторинг и проактивное управление.

Выводы по главе 2

В рамках второй главы научно-квалификационной работы представлены концептуальные аспекты управления производственными системами в условиях цифровой трансформации и применения искусственного интеллекта.

В первом параграфе представлена концептуальная модель управления производственными системами в контексте цифровой трансформации. Модель базируется на интеграции трех взаимосвязанных блоков: анализа и формализации ключевых факторов производственной деятельности, прогнозирования будущих изменений и цифровой экосистемы для оперативной поддержки принятия решений. Отличительной особенностью данной модели является синхронное включение экспертных знаний специалистов и возможностей искусственного интеллекта в процесс принятия

решений, что обеспечивает более точное и взвешенное управление в условиях неопределенности.

Во втором параграфе изложено авторское видение классификации систем искусственного интеллекта для управления производственными системами. Классификация предлагает оригинальный подход к группировке различных систем искусственного интеллекта в задачах управления производственными системами, что облегчает их практическое использование. На наш взгляд, данная классификация обеспечивает возможность более эффективного выбора соответствующих технологий в соответствии с конкретными потребностями и требованиями производственных систем.

На основе авторской классификации в заключительном параграфе второй главы диссертации предложена процедура управления производственной системой, которая представляет собой цикличную систему управления на основе методов искусственного интеллекта и позволяет оптимизировать производственные процессы. В отличие от существующих решений, процедура интегрирует системы искусственного интеллекта на каждом этапе производственного цикла — что позволяет оптимизировать производственные процессы в реальном времени, повысить эффективность системы, снизить затраты и улучшить качество продукции благодаря автоматизированной аналитике.

ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДИАГНОСТИКИ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

3.1. Модель диагностики производственных систем с использованием искусственного интеллекта

Концептуальные, методологические и методические основы моделирования производственных систем в новых условиях требуют разработки принципиально нового комплекса методов и моделей, поскольку сложность современных производственных процессов неуклонно возрастает. В современных реалиях производственные системы обладают множеством подсистем и взаимосвязанных процессов. К таким системам можно отнести нефтегазовую, химическую, энергетическую промышленность и др [153, 211]. При этом не только значительно растет количество связей между субъектами, но и меняется их сущность, качество и направленность. Сегодня в производственных системах собирается огромное количество данных из различных источников, включая сенсоры, IoT-устройства, базы данных, а число управляемых параметров достигает нескольких тысяч. Эффективная обработка и анализ этих данных становятся ключевыми для принятия обоснованных решений.

Решение задач управления такими системами сегодня требует более эффективных подходов, отвечающих современным технологическим возможностям. Один из таких подходов может быть связан с использованием интеллектуальных моделей мониторинга управленческих процессов, что помогает в решении задачи оптимизации управленческих процессов, затрат и производительности. В современных реалиях критически важно оперативно обнаруживать проблемы и аномалии в управленческих процессах. Для решения таких задач целесообразно создавать интеллектуальные модели мониторинга.

В современной отечественной и зарубежной научной литературе предлагается множество моделей для диагностики управленческих процессов. Например, в [136] исследованы потенциальные области применения инновационной визуально-интерактивной системы имитационного моделирования, которая была спроектирована для симуляции разнообразных производственных и транспортных систем, дан пример использования этой системы для моделирования технологической инфраструктуры предприятия в нефтегазовой сфере.

В работе [150] дана методика мониторинга процессов в системе управления качеством в высшем учебном заведении. Особое внимание уделяется созданию системы для измерения и анализа показателей данных процессов. Также изложена практическая реализация системы в Московском государственном университете тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова (сейчас Институт тонких химических технологий им. М. В. Ломоносова РТУ МИРЭА).

Исследование [102] доказывает целесообразность использования агент-ориентированного подхода в моделировании процессов реализации крупных проектов. Апробация модели проведена в рамках долгосрочного прогнозирования демографической ситуации в городе Санкт-Петербург в целях увеличения эффективности управления социально-экономическим развитием города на основе возрастной структуры его граждан.

В статье [205] представлена интеллектуальная система мониторинга и прогнозирования процессов для полупроводниковой промышленности, включающая в себя сложные и динамичные производственные характеристики. Система основана на искусственных нейронных сетях и используется для мониторинга и управления целым набором процессов в течение определенного периода времени. Интеллектуальная система мониторинга и прогнозирования процессов выполняет три основные функции: извлечение признаков, анализ закономерностей процесса, а также оценка и прогнозирование стабильности

производственного процесса. В ситуациях, в которых необходим контроль целого ряда взаимосвязанных переменных качества, предложенная система имеет несомненное практическое преимущество.

В исследовании [184] рассматриваются некоторые аспекты разработки интеллектуальных систем для наблюдения за сложными технологическими процессами. Осуществляется исследование моделей, используемых для интеллектуальной обработки данных. Подробно рассматриваются преимущества использования когнитивных средств измерения в системах мониторинга, которые обеспечивают получение достоверной информации, необходимой для эффективного управления сложными технологическими процессами. В работе предлагается структурная схема для интеллектуального мониторинга обработки сигналов в сложных производственных процессах, а также представлена адаптивная модель системы мониторинга, которая основана на обновляемой базе знаний.

Целый ряд исследований [205, 238, 240] посвящен вопросам разработки систем диагностики для отслеживания состояния сложных технических процессов при различных воздействиях внешних факторов. В данных работах представлены модели интеллектуальных систем мониторинга, которые основываются на использовании базы данных и способны оценить эффективность работы промышленных процессов.

В работе [233] авторами представлена информационная система диагностики промышленными организациями, нацеленная на определение оптимального алгоритма управления, включая учет неопределенностей экзогенной и эндогенной среды.

В статье [21] даны схема и принципы автоматизированной мониторинговой системы производственных процессов. В сложной системе управления производственным предприятием авторами выделено три ключевых уровня: стратегическое управление, административно-финансовое планирование и тактическое управление.

В статье [11] представлена методика, использующая нейросетевые технологии для анализа информативности входных параметров, которые описывают различные угрозы. Эта методика основана на создании обучаемых классификаторов и настройке набора входных параметров с учетом заданного (допустимого) уровня потенциального ущерба. Статья также включает в себя функциональные схемы основных процедур принятия решений и результаты, полученные при применении обученных моделей для классификации и прогнозирования на основе экспериментальных данных.

В заключение далеко не полного обзора литературы можно сделать вывод о том, что в современной теории и практике управления недостаточно представлены модели мониторинга управленческих процессов в сложных производственных системах, основанные на современных интеллектуальных алгоритмах.

В контексте диагностики управленческих процессов в производственных системах можно выделить следующие принципы организации мониторинга и их характеристики:

1. *Ориентированность.* Необходимость концентрации на оперативных управленческих задачах в производственных системах.

2. *Системность.* Подразумевает рассмотрение сложного производственного процесса в контексте системы, где учитываются взаимосвязи и взаимодействие различных элементов.

3. *Объективность.* Требование подразумевает, что показатели для каждого процесса должны разрабатываться, измеряться и оцениваться на основе обоснованных, точных и надежных данных, что обеспечит их интеграцию в систему мониторинга управления качеством.

4. *Динамичность.* Принцип предполагает регулярное проведение мониторинга процессов управления качеством с учетом изменений и динамики в производственных системах.

Схема интеллектуальной модели диагностики производственных систем представлена на рис. 3.1 [74].



Рисунок 3.1. Схема интеллектуальной модели мониторинга управленческих процессов в производственных системах

На вход модели подаются основные критерии экономической составляющей производства, благодаря которым выявляются проблемные места. Здесь искусственный интеллект применяет алгоритмы машинного обучения для анализа данных и определения областей, требующих оптимизации. Далее выбирается производственный процесс, подлежащий оптимизации. На следующем этапе определяются связанные бизнес-процессы и выбираются наиболее эффективные средства измерения показателей. Искусственный интеллект помогает автоматизировать сбор данных и прогнозировать, что обеспечивает высокую точность и достоверность результатов. Затем проводится оценка и контроль производственных процессов для прогнозирования изменений под воздействием внутренних и внешних факторов.

Отличительной чертой авторской системы диагностики выступает комплексный подход к анализу задач управления, который позволяет рассматривать задачу управления во всех ее аспектах. Совокупность

представленных инструментальных средств анализа производственных систем, обобщенных в единую модель, позволяет добиться взвешенного управленческого решения на основе текущего и ретроспективного анализа значимых характеристик управленческих процессов. Важным элементом является механизм обратной связи, который позволяет оперативно корректировать управленческие решения на основе анализа полученных данных. Также необходимо отметить структуру хранения данных, которая основана на совокупности анализируемых бизнес-процессов, а сопутствующие процессы выделены в отдельное хранилище. Таким образом, совокупный эффект автоматизации управления достигается за счет реализации комплекса мер цифровизации. Искусственный интеллект интегрируется на этапе анализа, выявляя закономерности и зависимости в данных, что ускоряет процесс принятия управленческих решений.

Для более точного управления модель предусматривает механизм обратной связи. Механизм предполагает агрегирование полученных в результате принятия управленческих решений результатов с последующей их декомпозицией на составляющие для пополнения базы знаний сопутствующих производству процессов, совершенствования подходов к идентификации проблем бизнес-процессов предприятия, развития и адаптации системы критериев управления производством. Интеграция многоуровневого анализа данных и механизма обратной связи обеспечивает динамическую адаптацию управленческих решений в режиме реального времени и на основе исторических данных. Искусственный интеллект анализирует результаты ранее принятых решений и предлагает корректировки в реальном времени, повышая гибкость управления.

Таким образом, в данном параграфе диссертации представлена модель диагностики производственных систем с использованием технологий искусственного интеллекта. В рамках модели предполагается реализация необходимых для управления систем искусственного интеллекта. Применение

данной модели на практике решает задачи автоматизации мониторинга, увеличения скорости анализа и оперативного реагирования, прогнозирования управляющих параметров, принятия управленческих решений, снижения затрат времени и ресурсов.

3.2. Методика комплексной оценки эффективности управления производственными системами

За последнее время цифровая трансформация входит в стратегию развития большинства промышленных систем и стала востребованным инструментом формирования надлежащих условий функционирования бизнеса, снижения издержек на разработку инноваций и времени их коммерциализации, достижения устойчивого роста в условиях риска и неопределенности, реализации новых подходов к развитию необходимых системных качеств и соответствию тенденциям научно-технологического прогресса. В Указе «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» цифровая трансформация рассматривается как приоритетная задача развития, без которой невозможно успешное функционирование экономики государства [2]. При этом успешная цифровая трансформация предполагает гармоничное развитие сразу по ряду направлений [168].

Основной задачей производственной системы является выпуск продукции заданного объема и качества (выполнение работ, предоставление услуг) в установленные сроки. При планировании производства необходимо учитывать не только общественные и индивидуальные потребности в данной продукции, но и стремиться к оптимизации эффективности производственных процессов. Следовательно, оценка деятельности системы должна в первую очередь основываться на анализе ее экономической эффективности.

Эффективность функционирования производственных систем выражается в способности системы с наибольшей производительностью выполнять свои функции, оптимизировать ресурсы (время, труд, финансы, материалы, энергию и др.) и минимизировать затраты, достигая при этом стратегических целей и удовлетворения. Такая эффективность, как правило, зависит от таких ключевых факторов, как: надлежащая оптимизация производственных процессов и процедур; использование современных технологий и оборудования; эффективное управление запасами, снабжением и логистикой; повышение качества продукции; эффективное управление персоналом; разработка стратегических планов, анализ рисков и т. д. Все названные факторы во многом взаимосвязаны и влияют на общую эффективность системы, а их оптимальное сочетание, как правило, приводит к максимальному повышению производственной эффективности. Высокая производственная эффективность играет важную роль в обеспечении постоянного расширения производства. Она является одним из ключевых показателей экономики, определяющих достижение общей цели развития производства.

Анализ экономической категории «эффективность» демонстрирует наличие различных трактовок данного феномена. В научных трудах доминирует подход, в котором эффективность выступает отношением достигнутых результатов к использованным ресурсам или затратам. В зависимости от контекста, эффективность может оцениваться на уровне общества, предприятия или системы управления. Различные концепции и подходы к определению «производственной эффективности» представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Понятие «эффективность производства»

Авторы	Определение понятия «Эффективность производства»
М. В. Афанасьев, А. Б. Гончаров	Эффективность производства — комплексное отражение конечных результатов использования рабочей силы (работников) и средств производства за определенный промежуток времени
И. М. Бойчик	Эффективность производства — это обобщенное и полное отражение конечных результатов использования средств, предметов труда и рабочей силы на предприятии за определенный промежуток времени. Общую экономическую эффективность производства еще называют общей производительностью производственной системы.
В. И. Выборнов, В. С. Маврищев	Экономическая эффективность производства — результативность производственного процесса, соотношение между достигнутыми результатами и затратами живого и овеществленного труда, выражающие достигнутый уровень развития производительных сил и степень их использования
Н. Л. Зайцев	Эффективность производства — соотношение результатов хозяйственной деятельности промышленного предприятия и затрат трудовых и материальных ресурсов
Е. Л. Кантор	Экономическая эффективность производства является количественным отношением двух величин — результатов хозяйственной деятельности и производственных затрат
М. А. Сероштан, В. И. Потапов, М. И. Билявцев, С. В. Олейник, А. Н. Тимошин	Эффективность производства — с одной стороны, это соотношение между физическими ресурсами (затратами) и физическим продуктом (изделием). С другой стороны, эффективность производства это соотношение между общественно-определенными затратами стоимости и общественно-определенным стоимостным результатом

Источник: [60]

Производственная эффективность трактуется авторами как отношение между итогами промышленной деятельности и ресурсами, задействованными в этом процессе — включая рабочую силу, материальные ресурсы и орудия труда. Этот подход позволяет оценить результаты использования ресурсов в течение определенного временного интервала.

Понятие «эффективность функционирования производственной системы», на наш взгляд, более многогранно. Оно может встречаться в источниках под различными названиями — такими, как «эффективность функционирования организации», «бизнес-эффективность», «эффективность хозяйственной деятельности» и др. Разные трактовки этого термина представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2.

Понятия «эффективность функционирования производственной системы»

Авторы	Определение понятия «Эффективность функционирования производственной системы»
А. П. Белый, Ю. Г. Лысенко, А. А. Мадих	Эффективность функционирования предприятия — отношение объема выходов предприятия к объему входов, которые измерены в сопоставимых единицах
В. И. Гончаров	Эффективность деятельности предприятия определяется степенью рационального использования ресурсов, навыков и применяемой технологии, а также усилий предприятия для производства продукции и услуг при удовлетворении конкретного рыночного спроса
Н. П. Иващенко	Эффективная деятельность предполагает получение максимального результата за счет имеющихся ресурсов или получение определенного результата с минимальными затратами ресурсов
С. Ф. Покропивный	Эффективность производства (деятельности предприятия, производительности системы) — это комплексное отражение конечных результатов использования средств производства и рабочей силы (работников) за определенный промежуток времени
Н. Н. Федорова	Эффективность производственной организации определяется ее способностью адаптироваться к внешним условиям функционирования, сохраняя себя при этом как целостное образование
А. Д. Шеремет, Р. С. Сайфулин	Эффективность хозяйственной деятельности предприятия измеряется одним из двух способов, отражающих результативность работы предприятия или относительно размера авансированных ресурсов или размера их потребления (затрат) в процессе производства

Источник: [60]

Анализ приведенных дефиниций показывает взаимосвязь двух понятий. Разные исследователи интерпретируют их с разнообразных ракурсов, признавая, что «эффективность функционирования» является конечным результатом деятельности системы.

Современные реалии диктуют новые объективные требования к эффективности работы производственных систем. Способность соответствовать этим требованиям становится ключевым фактором для выживания и успешной деятельности. Точная оценка уровня соответствия

параметров функционирования системы установленным требованиям является основой для принятия управленческих решений, направленных на обеспечение выживаемости производственной системы в современном социально-экономическом контексте. Цифровизация производства выступает одним из ключевых ориентиров формирования цифровой экономики в стране, поскольку в реальном секторе создаются предпосылки экономического роста [163]. В связи с этим разработка новых подходов к оценке эффективности функционирования производственных систем с учетом фактора цифровой трансформации представляет собой актуальную задачу для отечественной экономики.

Конечный эффект от внедрения цифровых технологий представляет собой итог цифровизации различных экономических процессов [84]. Согласно Методическим рекомендациям по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием, экономическая эффективность от цифровой трансформации включает анализ комплексных экономических показателей [109].

Процесс цифровизации требует значительных затрат — и, по нашему мнению, оценка только эффекта является недостаточной. Достижение положительного эффекта от внедрения цифровых технологий отнюдь не всегда означает, что производственная система улучшила свою устойчивость и конкурентоспособность на рынке. Поэтому важно видеть разницу между понятиями «эффект» и «эффективность». Эффективность представляет собой сравнительную характеристику результатов деятельности. В ее оценке учитываются не только конкретные количественные показатели, отражающие соотношение результатов и затрат, но и факторы, указывающие на возможные резервы экономического роста и направления прогрессивных качественных изменений [106].

Эффективность можно рассматривать в узком смысле как отношение эффекта к затратам — так и в широком, понимая под эффективностью

интегральный уровень развития производственной системы по совокупности множества ключевых показателей. В широком смысле эффективность управления отождествляется с эффективностью функционирования системы в целом и совпадает с понятием эффективности основной деятельности (производственной, финансово-хозяйственной и др.) организации и выражается через конечные результаты ее деятельности — экономический подход к оценке эффективности [90]. В таком случае эффективность может быть выражена в виде некоторого интегрального (обобщенного) индекса, составленного по разнообразным сферам функционирования производственной системы.

Интегральной оценки эффективности социально-экономических систем посвящено значительное количество научных работ. Например, в работе Р. А. Жукова рассматриваются методологические аспекты анализа эффективности иерархических социоэкономических систем, с использованием авторской системы показателей для изучения воздействия, управления и функционирования. Этот подход обеспечивает возможность оценки характеристик сложных систем на различных уровнях иерархии [61].

В исследовании, проведенном Д. Н. Лапаевым с целью проведения многокритериального сравнительного анализа инновационного развития экономических систем, представлены две методики для выявления эффективных и предпочтительных альтернатив. Эти методики основаны на создании матриц эффективности [95].

П. А. Фоминым и М. К. Старовойтовым разработана методика экспресс-оценки уровня производственного потенциала производственной системы, которая включает в себя подготовительный и расчетный этапы [160]. В работе Ю. С. Валеева сформирована измерительная система оценки потенциала промышленного предприятия, построенная по трем группам показателей с учетом их весовых коэффициентов: износа основных производственных фондов, рентабельности производства и уровня использования производственной мощности [33].

В исследовании В. Н. Беленцова и Н. А. Рытовой предложены методологические подходы для комплексной оценки социально-экономических систем. Предложено использовать совокупный показатель результативности для систем различных уровней иерархии [20].

В исследовании, проведенном А. А. Гришиным, произведена оценка характеристик деятельности отраслей обрабатывающей промышленности, а также рассмотрено воздействие экономических кризисов на изменение значений агрегированных показателей [53].

В работе О. Н. Азовской и О. М. Сярдовой представлена функциональная модель для оценки производственных процессов в производственных системах. Идентифицированы ключевые системные элементы, совершенствование которых сокращает возникающие потери. Авторами изложен алгоритм комплексной оценки эффективности функционирования данных ключевых элементов [7].

В работе М. А. Абдулкадырова, А. Н. Игнатова, Н. Н. Куликовой, Е. С. Митякова на базе авторской системы показателей разработана методика компаративного сопоставления показателей с использованием нормированных индексов и обоснован расчет обобщенного показателя эффекта от введения инноваций. Авторские разработки апробированы на примере исследований по внедрению нового отечественного прибора для развития производственной системы [127].

В исследовании, проведенном Н. А. Андреевой и С. Н. Угримовой, рассматривается возможность использования системы интегральных показателей для оценки эффективности управления в условиях рынка. На примере промышленного предприятия протестирована методика комплексной оценки по ключевым показателям эффективности управления всеми подсистемами предприятия. Это позволяет (основываясь на внешних данных о деятельности конкурирующих предприятий) оценивать эффективность управления организацией и выявлять конкурентные преимущества [12].

В заключении обзора методик комплексной оценки развития экономических систем стоит отметить, что подходы к оценке эффективности функционирования производственных систем в условиях цифровой трансформации в профильной литературе изложены в меньшей степени. В данной работе предлагается проводить комплексную оценку эффективности на основе интегральных показателей [79], которые вычисляются по системе критериев, описанной в предыдущем разделе диссертации.

Приведем авторскую методику комплексной оценки эффективности управления производственными системами.

1. На первом этапе методики определяется набор показателей для оценки эффективности управления производственной системой. При этом список показателей должен быть гибким и адаптированным для экономических систем с различной иерархией, что позволит учитывать специфические особенности и требования каждого из уровней управления [98].

В научной литературе представлены разнообразные подходы к формированию системы показателей управления промышленными системами. Так, в статье В. И. Нечаева и Ю. В. Нечаева предложена система индикаторов, позволяющая производить оперативную оценку состояния производственного процесса на рабочем месте за каждую смену [118]. Авторская система включает показатели трех уровней и позволяет находить резервы повышения эффективности, анализировать состояние и выполнять сравнительный анализ процессов на различных участках, операциях, в цехах.

В исследовании, проведенном М. А. Абдулкадыровым, А. Н. Игнатовым, Н. Н. Куликовой и Е. С. Митяковым, представлен методический инструмент для интегральной оценки эффектов, возникающих в результате реализации проектов развития производственной системы — в частности, касающихся внедрения нового оборудования [127]. В рамках исследования была разработана система показателей, направленная на

изучение эффектов таких проектов, которая классифицирует эффекты на внутренние и внешние. К ним относятся эффекты, связанные с развитием потенциала, социально-экономические последствия, импортнезависимость, а также общественные и экологические аспекты. Особое внимание уделено тому, что индикаторы эффектов фиксируют не текущие значения, а изменения показателей в динамике. Успешная апробация предложенной системы показателей была проведена на наукоемком предприятии АО «Лыткаринский завод оптического стекла», где оценивались результаты внедрения нового отечественного прибора для развития производственной системы.

В статье Е. В. Сибирской представлены концептуальные положения и обоснована методика индикативного управления предприятиями. Автором показана возможность комплексной оценки потенциала и особенностей организаций. Использование авторских подходов позволяет повысить эффективность управления бизнес-процессами, определить перспективные направления развития и обеспечить повышение инновационной восприимчивости организации [145].

В работе Л. В. Ермолиной рассмотрены разнообразные виды показателей эффективности системы стратегического управления, а также предложены варианты их использования для проведения стратегического анализа деятельности промышленного предприятия [59].

В докторской диссертации Р. Я. Вакуленко разработана методология оценки эффективности управления производственными системами. В частности, автором предложена концепция управления производственными системами на предприятиях промышленности на основе современной парадигмы менеджмента, многофакторного моделирования снижения издержек производства и роста производительности труда [32].

В статье М. В. Шанта, Е. Г. Семенов и А. Г. Варжапетян изложена методика формирования системы сбалансированных показателей, позволяющая стандартизировать и организовать деятельность каждого

отдельно взятого сотрудника и подразделений, систематизировать результаты работы и цели, сделать систему управления производством, более понятной и доступной для каждого участника производства [174].

В некоторых современных работах авторы учли процессы цифровой трансформации. Так, в работе Е. Ю. Беловой и М. О. Шевченко с целью обоснования эффективности процессов трансформации систем управления введены индикаторы и сформирован интегральный показатель уровня цифрового интеллекта организации [22]. Предлагаемая система индикаторов учитывает показатели управления человеческими ресурсами и уровень капиталовложений в автоматизированные системы управления и искусственный интеллект. Эмпирический анализ продемонстрировал прямую тесную корреляцию динамики рентабельности российских предприятий с динамикой обобщенного уровня их цифрового интеллекта.

В работе Р. Фабака был сформулирован вариант цифровой системы показателей, которая ориентирована на вызовы, возможности и препятствия цифровой трансформации. Показано, что предлагаемая система индикаторов может последовательно интерпретировать цифровую стратегию организации [201].

В монографии И. В. Балахоновой предложены метод экспресс-диагностики цифровой зрелости производственной системы и модель оценки цифровой зрелости промышленного предприятия [126]. Автором продемонстрирован пример формирования дорожной карты цифровой трансформации оперативного управления производством.

При выборе показателей необходимо учитывать несколько ключевых принципов [113]:

1. *Необходимость и достаточность.* Показатели управления должны быть отобраны для комплексного изучения объекта и ясного понимания управленческой цели.

2. *Декомпозиция.* Система должна быть разделена на отдельные

подсистемы с соответствующими показателями, что позволяет представить ее в виде древовидной структуры для более глубокого анализа компонентов.

3. Достоверность. Следует применять актуальные и статистически обоснованные параметры для исследования системы управления.

Принципы формирования системы показателей для управления социально-экономическими системами в значительной степени коррелируют с концепцией сбалансированной системы показателей (ССП), разработанной Р. Капланом и Д. Нортоном. Важным моментом является то, что стратегическое принятие решений происходит на непрерывной основе, при этом все процессы в экономических системах обеспечивают наличие обратной связи [119]. Внедрение СПП в хозяйственную деятельность рассматривалось в ряде научных работ — в том числе, в трудах таких ученых-экономистов, как Ч. Блумфилд [25], Ш. Хэнш [165], М. Горский и А. Гершун [45], М. Мейер [107] и др. Многочисленные научные труды освещают использование данного подхода в различных сферах, включая здравоохранение [229], финансовый сектор [183], образовательную деятельность [186], региональную экономику [87, 139, 143], промышленность [222] и др. В указанных работах изложены как положительные, так и отрицательные аспекты использования СПП в практике менеджмента.

Методология сбалансированной системы показателей демонстрирует высокую эффективность в управлении производственными системами по ряду ключевых причин. Во-первых, многопроекционный подход позволяет всесторонне оценивать различные аспекты развития системы, охватывая как внутренние, так и внешние факторы. Во-вторых, ориентированность на стратегические цели способствует четкому определению приоритетов и формированию объективных показателей для оценки достигнутого прогресса. В-третьих, системный подход обеспечивает комплексный анализ взаимосвязей

между показателями, что позволяет детализировать их влияние на общую производственную эффективность. Наконец, данная методология создает условия для постоянного мониторинга и контроля динамики ключевых показателей, выявления слабых и сильных сторон — что позволяет оперативно корректировать управление и повышать результативность производственной системы. Таким образом, сбалансированная система показателей является мощным инструментом для стратегического и операционного управления производственными системами, способствуя их устойчивому развитию и оптимизации.

В данном исследовании для управления производственной системой в условиях цифровой трансформации были выбраны показатели, представленные в таблице 3.3 [81]. Эталонные значения индикаторов, отраженные в правом столбце таблицы, служат ориентиром для определения уровня развития системы, разграничивая требуемый уровень от недостаточного. Применение эталонных уровней обосновано потребностью установки границ требуемого состояния в задачах управления производственными системами.

Эталонные уровни выбирались в соответствии с различными методиками, включая отечественный и международный опыт, значения показателей в развитых экономиках мира, экспертные заключения и другие подходы. Кроме того, они могут подвергаться актуализации со временем. Чем ближе значение показателя к эталону, тем выше уровень развития производственной системы, в то время как удаление от эталона указывает на более низкий уровень развития.

Система показателей состоит из 15 индикаторов и подразделена на 5 проекций: динамика, ресурсы, инновации, финансы и цифра. При этом в каждую проекцию включено по три показателя. Рассмотрим состав системы индикаторов отдельно по каждой проекции в отдельности.

Таблица 3.3.

Система показателей управления производственной системой предприятия
в условиях цифровой трансформации.

№	Показатель	Методика вычисления	Эталон
Проекция «Динамика»			
1	Темп прироста объемов производства	Отгрузка продукции текущего года по отношению к предыдущему * 100 – 100, %	>5
2	Темп прироста производительности труда	Производительность труда текущего года по отношению к предыдущему * 100 – 100, %	>5
3	Темп прироста прибыли	Прибыль от реализации продукции текущего года по отношению к предыдущему * 100 – 100, %	<6
Проекция «Ресурсы»			
4	Степень износа основных фондов	Сумма амортизации по отношению к первоначальной стоимости основных фондов * 100, %	<40
5	Инвестиции в основной капитал	Инвестиции по отношению к выручке * 100, %	6
6	Отношение зарплат к средней по экономике (отрасли)	Среднемесячная зарплата в производственной системе по отношению к средней зарплате по экономике (отрасли) * 100%	1,1
Проекция «Инновации»			
7	Внутренние затраты на исследования и разработки	Внутренние затраты на исследования и разработки по отношению к выручке * 100, %	>2
8	Интенсивность затрат на инновации	Затраты на инновации по отношению к выручке * 100, %	>2,5
9	Доля инновационной продукции	Выручка от продаж инновационной продукции по отношению к общей выручке от продаж * 100, %	>15
Проекция «Финансы»			
10	Рентабельность продаж	Прибыль от продаж по отношению к выручке от продаж * 100, %	>12
11	Коэффициент текущей ликвидности	Оборотные активы по отношению к краткосрочным обязательствам	>150
12	Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	(Собственный капитал — внеоборотные активы) по отношению к оборотным активам	>10
Проекция «Цифровые технологии»			
13	Использование цифровых технологий	Сумма баллов анкеты, 8 макс (приложение А, табл. А.1)	>4
14	Использование отдельных IT-технологий	Сумма баллов анкеты, 5 макс (приложение А, табл. А.2)	>3
15	Использование программных средств	Сумма баллов анкеты, 11 макс (приложение А, табл. А.3)	>6

Источник: составлено автором.

Проекция «Динамика» при управлении промышленными системами показывает изменения ключевых параметров системы во времени. Открывает систему показатель *темпа прироста объемов производства* — индикатор, отражающий изменение объема производства за год. Данный критерий может быть задействован для оценки эффективности стратегии управления. В контексте управления производственными системами показатель помогает выявить ключевые факторы, влияющие на производственные процессы, и принимать решения для оптимизации и улучшения производственной эффективности. Вторым показателем проекции выступает индикатор *темпа прироста производительности труда*. Высокие значения данного показателя могут говорить о внедрении новых технологий, повышении эффективности производственных процессов — или других факторах, способствующих увеличению результативности труда. Оценка и анализ темпа роста производительности труда помогают принимать решения по интенсификации производственных процессов, оптимизации рабочей силы и повышению конкурентоспособности производственной системы. Замыкает тройку показателей проекции индикатор *темпа прироста прибыли* производственной системы — который отражает, насколько быстро или медленно система увеличивает свою прибыль по сравнению с предыдущим периодом. С одной стороны, высокие значения показателя могут свидетельствовать о успешных стратегиях управления производством. С другой — отрицательный темп роста прибыли указывает на разнообразные системные проблемы.

Проекция «Ресурсы» при управлении производственными системами отражает имеющийся ресурсный потенциал, необходимый для эффективного функционирования производственного процесса. Первым показателем системы выступает *степень износа основных фондов*. Данный индикатор показывает отношение износа имеющихся основных фондов (разницы их полной учетной и остаточной балансовой стоимости), накопленного к определенной дате, к полной учетной стоимости этих основных фондов на ту же дату (в процентах). Значение показателя дает представление о том, насколько эффективно производственная

система задействует свои активы и когда может потребоваться замена или модернизация оборудования. Следующим показателем системы являются *инвестиции в основной капитал*. Они представляют собой капиталовложения в создание, расширение или модернизацию производственных активов, используемых в рамках производственного процесса. Данные инвестиции направлены на улучшение технологического уровня производственной системы, производственных мощностей, повышение эффективности и рентабельности бизнеса. Третьим индикатором проекции выступает *отношение зарплаты в производственной системе к средней по экономике (отрасли)*. Данный показатель показывает привлекательность производственной системы для работников и рассчитывается с целью оценки уровня рабочих доходов и выявления неравенств в оплате труда — а также комплексного анализа структуры заработной платы в производственной системе.

Проекция «Инновации» охватывает аспекты внедрения инновационных технологий — или стратегий, направленных на рост инновационности, эффективности и конкурентоспособности производственной системы. При этом инновации в производственных системах могут затрагивать как технологические, так и организационные нововведения. Первым индикатором проекции выступает *внутренние затраты на исследования и разработки*, соотнесенные к выручке производственной системы. Данный показатель демонстрирует, какая часть выручки выделяется на внутренние исследования и разработки, и помогает оценить, насколько инновационно ориентирована производственная система и насколько она готова инвестировать в разработку новых продуктов или технологий. Высокие значения индикатора говорят о том, что в производственной системе активно происходят процессы инвестирования в разработки и исследования — что может повысить ее конкурентоспособность в долгосрочной перспективе. Напротив, низкое соотношение указывает на недостаток инвестиционных вливаний в инновационную деятельность, что может быть серьезной проблемой в инновационных отраслях, где условия рынка

быстро изменяются. Следующим индикатором инновационной проекции выступает *интенсивность затрат на инновации*. Данный показатель отражает объем средств, направленных на инновационные проекты в сравнении с общим объемом выручки производственной системы и может быть использован в качестве метрики инновационного потенциала системы и ее готовности к адаптации к изменяющимся условиям рынка. Тем не менее, следует заметить, что высокая интенсивность затрат на инновации не всегда гарантирует успех или высокую рентабельность производственной системы. Замыкает проекцию показатель *доли инновационной продукции* в производственной системе. В данном случае индикатор отражает процентное соотношение выручки от инновационных продуктов (или услуг) к общей выручке от продукции (или услуг). Высокая доля инновационной продукции говорит о том, что в производственной системе идут активные процессы по внедрению новых идей и технологий — что может повысить конкурентоспособность, привлекательность для клиентов и способность адаптации к рынку.

Проекция «Финансы» при управлении производственными системами отражает финансовые аспекты деятельности системы в рамках производственных процессов. Так, показатель *рентабельности продаж* измеряет прибыль, полученную от продажи товаров или услуг (в процентах от общих вырученных средств). Рентабельность продаж выступает базовым показателем для анализа финансового состояния производственных систем и может быть использована при компаративном сопоставлении с аналогичными показателями в отрасли (или для отслеживания динамики). Вторым показателем финансовой проекции выступает *коэффициент текущей ликвидности*. Он демонстрирует способность производственной системы покрыть свои текущие обязательства с использованием собственных текущих активов. Коэффициент текущей ликвидности важен для оценки финансовой устойчивости производственной системы и ее способности справляться с текущими финансовыми обязательствами. Замыкает состав проекции *коэффициент*

обеспеченности собственными оборотными средствами. Данный показатель оценивает, насколько оборотные средства компании финансируются собственными средствами — то есть средствами, принадлежащими ей самой, без привлечения внешних источников. Высокие значения могут говорить о хорошей финансовой устойчивости и способности производственной системы управлять своими текущими обязательствами, в то время как низкие значения коэффициента говорят о том, что система в большей степени задействует внешние источники финансирования для оборотных средств. Таки образом, коэффициент позволяет оценить, насколько производственная система зависит от собственных средств для обеспечения ликвидности своих текущих операций.

Проекция «Цифровые технологии» базируется на данных статистической отчетности о применении информационных и коммуникационных технологий, производстве вычислительной техники, программном обеспечении и оказании услуг в этих сферах (Форма 3-информ [140]). Данная проекция охватывает аспекты использования современных информационных технологий, автоматизацию, цифровизацию данных и другие цифровые решения для оптимизации и улучшения эффективности производства. Первым индикатором проекции выступает показатель *использования цифровых технологий*. Он рассчитывается как сумма баллов анкеты (приложение А, табл. А.1) и учитывает применение в производственных системах персональных компьютеров, серверов, локальных вычислительных сетей, «облачных» сервисов, технологий работы с большими данными, интернета вещей, технологий искусственного интеллекта и цифровых платформ. Вторым индикатором цифровой проекции выступает показатель *использования отдельных IT-технологий* в производственных системах. Он вычисляется как сумма баллов опросной анкеты (приложение А, табл. А.2), включающей ответы на вопрос по использованию в организациях мобильного, проводного и беспроводного интернета, широкополосного доступа к сети интернет, наличия веб-сайта в организации и обмена данными между своими и

внешними информационными системами. Третьим показателем проекции является индикатор использования специальных программных средств, вычисляемый как сумма баллов опросной анкеты (приложение А, табл. А.3). Анкета содержит вопросы, направленные на исследование использования специализированных программных средств в организациях. Вопросы охватывают такие аспекты, как применение программ для научных исследований, проектирования, управления автоматизированными производственными процессами, проведения электронных финансовых расчетов, обеспечения доступа к базам данных через глобальные сети, использование редакционно-издательских систем, технологий искусственного интеллекта, обучающих программ, а также систем CRM, ERP и электронных справочно-правовых систем.

Таким образом, авторская система включает 15 индикаторов и 5 проекций (динамика, финансы, ресурсы, инновации и цифровое развитие). Целевые значения индикаторов, отраженные в правом столбце таблицы, служат ориентиром для определения уровня развития системы, разграничивая требуемый уровень от недостаточного. Они выбирались в соответствии с различными методиками, включая отечественный и международный опыты, значения показателей в развитых экономиках мира, экспертные заключения и другие подходы. Важно учитывать, что некоторые показатели — такие, как интенсивность затрат на инновации — могут не отражать реальную картину для зрелых инновационных предприятий. В таком случае вместо искомого показателя может использоваться доля прибыли, полученная от внедренных инноваций. Таким образом, предложенная система поддается изменениям во времени в ответ на новые вызовы, угрозы или ориентиры развития. С учетом специфики анализируемого объекта могут добавляться другие проекции (например, экологические или социальные сферы). Отметим, что при соответствующей адаптации авторская система показателей может успешно трансформироваться для применения в различных социально-экономических

системах.

2. На втором этапе осуществляется сбор данных по каждому из выбранных индикаторов. Данные могут включать финансовые отчеты, производственные мощности, затраты на инновации, показатели цифровой трансформации и другие релевантные данные, которые характеризуют текущее состояние производственной системы.

3. Поскольку показатели могут быть выражены в различных единицах измерения, на третьем этапе методики проводится нормализация данных.

Обычно критерии эффективности имеют различные области допустимых значений и единицы измерений. Так, в нашем случае в первых четырех проекциях показатели измеряются в процентах, а в проекции, связанной с цифровым развитием — в баллах. Для проведения совместного анализа показателей эффективности управления производственной системой необходимо предварительно обработать их первоначальные значения, что включает в себя процесс нормировки. Нормировка предполагает преобразование информации таким образом, чтобы исключить влияние единиц измерения на результаты исследования. Кроме того, после нормировки возможен расчет обобщенных индикаторов.

В профильной литературе, посвященной анализу данных, можно зафиксировать значительное число алгоритмов нормировки: нормировка по пороговому, максимальному, минимальному или среднему значению, центрирование и т. д. [151]. В нашем исследовании в качестве нормирующей функции предлагается соотношение вида [141]:

$$kn = \begin{cases} 2^{\frac{t}{k}} & \text{— для «максимизируемого» показателя эффективности,} \\ 2^{\frac{k}{t}} & \text{— для «минимизируемого» показателя эффективности.} \end{cases} \quad (1)$$

Используются следующие обозначения: t — целевой ориентир показателя, k — исходное значение показателя эффективности управления производственной системой, kn — показатель, полученный после нормировки

данных. Выбор нормировочной функции (1) можно объяснить следующими обстоятельствами. Если $k = a$, то $kn = 1/2$ (середина отрезка $[0, 1]$). При других значениях k значение kn будет ниже или выше середины отрезка. Также в формуле (1) предусмотрено использование так называемых «максимизируемых» и «минимизируемых» показателей. К росту общей эффективности производственной системы ведет увеличение первых и снижение вторых.

Если целевое значение положительно, а фактическое отрицательно, или оба значения отрицательны, применение отношения (1) не дает ожидаемых результатов. Простым способом решения этой проблемы является установка нормированного значения 0 для индикаторов с отрицательными значениями. Однако такое упрощение не всегда обосновано и может снизить информативность результатов оценки в динамике.

Для более корректной адаптации сложного нормирования можно использовать следующий алгоритм [130]:

1. Рассчитываются абсолютное значение отклонения фактического значения от целевого — δ .
2. Далее применяем следующую формулу:

$$kn = \begin{cases} 2 \frac{|t|}{|t| + \delta} & \text{— для «максимизируемого» показателя эффективности,} \\ 2 \frac{|t| + \delta}{|t|} & \text{— для «минимизируемого» показателя эффективности.} \end{cases} \quad (2)$$

Формула (2) при выполнении условий $k > 0$, $t > 0$, приходят к виду функций (1).

4. На четвертом этапе для агрегированного анализа информации по различным проекциям управления производственной системы можно рассчитать интегральные индексы по каждой проекции. Основой для вычисления интегральных показателей эффективности служит системный подход, который основан на принципах декомпозиции, композиции, синтеза и анализа. Преимущество данного подхода заключается в возможности количественной оценки как всей производственной системы, так и ее отдельных составляющих. Среди недостатков стоит отметить сложность в

определении весовых коэффициентов, используемых в синтетических показателях [112].

Далее для агрегированного анализа информации по различным проекциям управления промышленной системы можно рассчитать интегральные индексы по каждой проекции:

$$K_i = \sum_{j=1}^m w_j kn_{ij}; \sum_{j=1}^m w_j = 1, \quad (3)$$

где kn_{ij} — нормированный j -й индикатор i -й проекции показателей эффективности управления промышленной системы, w_j — его весовой коэффициент, m — количество индикаторов в составе проекции.

Обобщенный индекс эффективности функционирования производственных систем можно рассчитать с помощью линейной свертки интегральных индексов по каждой проекции с учетом их значимости:

$$K = \sum_{i=1}^l s_i K_i; \sum_{i=1}^l s_i = 1, \quad (4)$$

где s_i — вес i -й группы факторов, l — количество проекций в системе показателей эффективности управления промышленной системой.

Индексы, подобно нормированным показателям, находятся в пределах от 0 до 1. В этом диапазоне значение индекса 0,5 служит своего рода универсальным показателем, ниже которого эффективность функционирования производственной системы считается недостаточной.

5. На пятом этапе проводится анализ изменений интегральных индексов во времени, что позволяет оценить динамику развития производственной системы, выявить тенденции и ключевые области для улучшения. Для повышения точности оценки эффективности управления на разных этапах цифровой трансформации методика предусматривает использование динамических весовых коэффициентов. Это позволяет учитывать специфику зрелых и начинающих предприятий, где показатели эффективности могут существенно различаться в зависимости от стадии цифровизации.

Приведем результаты апробации авторской методики, предложенной в данном разделе научно-квалификационной работы. Анализу подлежали

предприятия ООО «Метопром» (г. Орск Оренбургской обл., производитель инновационных изделий из металлов), ООО «Лоймина» (г. Дзержинск Нижегородской обл., производитель экологически чистых настенных покрытий премиум-класса) и АО «ДЗМО» (г. Выкса Нижегородской обл., производитель медицинской техники для лечебно-профилактических учреждений страны). Исходные данные за период 2019–2022 гг. по показателям из табл. 3.3 представлены в табл. 3.4–3.6.

Таблица 3.4.
Показатели эффективности функционирования ООО «Метпром»

№	Показатель	2019	2020	2021	2022
Проекция «Динамика»					
1	Темп прироста объемов производства	-40,88	21,37	15,50	33,41
2	Темп прироста производительности труда	1,69	4,63	8,05	25,32
3	Темп прироста прибыли	63,13	41,40	37,58	51,02
Проекция «Ресурсы»					
4	Степень износа основных фондов	0,39	5,12	4,25	5,48
5	Инвестиции в основной капитал	1,64	5,62	11,25	12,58
6	Отношение зарплаты к средней по экономике	1,16	1,13	1,16	1,26
Проекция «Инновации»					
7	Внутренние затраты на исследования и разработки	0,00	0,31	0,34	0,17
8	Интенсивность затрат на инновации	0,00	0,83	1,17	1,21
9	Доля инновационной продукции	0,00	24,14	30,39	23,32
Проекция «Финансы»					
10	Рентабельность продаж	2,51	2,34	3,48	5,48
11	Коэффициент текущей ликвидности	128,62	128,62	73,65	65,52
12	Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	7,04	-52,67	- 168,09	-156,86
Проекция «Цифра»					
13	Использование цифровых технологий	-	-	-	6
14	Использование отдельных ИТ	-	-	-	3
15	Использование программных средств	-	-	-	7

Источник: составлено автором по данным предприятия.

Анализ таблицы 3.4 позволяет сделать следующие выводы:

1. По показателям проекции «Динамика». На рассматриваемом

предприятия в 2019 году произошло существенное сокращение объемов производства на 40,88%, в то время как в последующие годы наблюдается рост, превышающий 5%. Производительность труда показывает положительный тренд в каждом году, превышающий 5%. Прибыль также растет каждый год — причем в 2019 году рост был наибольшим.

2. *По показателям проекции «Ресурсы».* Значения износа основных фондов указывают на то, что степень износа остается ниже целевого уровня в течение всех четырех рассматриваемых лет. Данные по показателю инвестиций в основной капитал указывают на их ежегодный постепенный рост. Средняя зарплата на предприятии превышает среднюю зарплату в экономике в целом и увеличивается с течением времени.

3. *По показателям проекции «Инновации».* В 2018 году на предприятии не было затрат на исследования и разработки, но в последующие годы они начали увеличиваться. Значения интенсивности затрат на инновации показывают рост с течением времени. Доля инновационной продукции также увеличивается, хотя в 2022 году произошло ее снижение по сравнению с предыдущим годом.

4. *По показателям проекции «Финансы».* Показатель рентабельности продаж растет с каждым годом. При этом коэффициент текущей ликвидности остается ниже целевого уровня в течение рассматриваемого периода. Значения коэффициента обеспечения собственными оборотными средствами показывают, что в 2018 году и в последующие годы предприятие не смогло достичь целевого уровня. Более того, данный коэффициент отрицателен, что говорит о том, что у предприятия недостаточно собственных оборотных средств для покрытия своих текущих обязательств.

5. *По показателям проекции «Цифра».* Данные по проекции цифрового развития представлены только за 2022 год. По всем трем показателям компания достигла целевого уровня.

Таблица 3.5.

Показатели эффективности функционирования ООО «Лоймина»

№	Показатель	2019	2020	2021	2022
Проекция «Динамика»					
1	Темп прироста объемов производства	14,12	9,99	19,15	37,49
2	Темп прироста производительности труда	-0,70	25,59	5,21	24,15
3	Темп прироста прибыли	5,81	-1,52	30,45	61,83
Проекция «Ресурсы»					
4	Степень износа основных фондов	5,11	5,64	6,77	3,68
5	Инвестиции в основной капитал	3,96	3,13	3,20	3,18
6	Отношение зарплаты к средней по экономике	1,08	1,30	1,20	1,14
Проекция «Инновации»					
7	Внутренние затраты на исследования и разработки	0,00	0,02	0,02	0,01
8	Интенсивность затрат на инновации	0,00	7,15	5,40	7,37
9	Доля инновационной продукции	0,00	11,40	10,98	13,58
Проекция «Финансы»					
10	Рентабельность продаж	120,07	92,90	88,43	100,36
11	Коэффициент текущей ликвидности	884,53	834,54	795,04	832,16
12	Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	74,76	88,02	84,44	82,13
Проекция «Цифра»					
13	Использование цифровых технологий	-	-	-	6
14	Использование отдельных ИТ	-	-	-	4
15	Использование программных средств	-	-	-	8

Источник: составлено автором по данным предприятия.

Анализ таблицы 3.5 позволяет сделать следующие выводы:

1. По показателям проекции «Динамика». Несмотря на снижение производительности труда в 2019 году и прибыли в 2020 году, компания показала впечатляющий рост объемов производства и прибыли в последующие годы, превышая установленные целевые ориентиры.

2. По показателям проекции «Ресурсы». Предприятие достаточно

эффективно контролирует степень износа основных фондов, что говорит о надлежащей стратегии обслуживания и обновления оборудования. Однако оно может рассмотреть возможности увеличения инвестиций в основной капитал для обеспечения долгосрочной устойчивости и роста. Отношение зарплаты к средней по экономике остается стабильным с небольшим увеличением с 2019 по 2021 год.

3. По показателям проекции «Инновации». Несмотря на то, что показатели интенсивности затрат на инновации и доли инновационной продукции за рассматриваемый период в целом растут, внутренние затраты на исследования и разработки остаются недостаточными. Это говорит о целесообразности интенсификации усилий по развитию инновационной деятельности, чтобы обеспечить более высокий уровень конкурентоспособности и роста предприятия.

4. По показателям проекции «Финансы». Несмотря на то, что все три анализируемых показателя остаются выше своих целевых ориентиров, наблюдается снижение их значений с течением времени. Это во многом говорит о проблемах в финансовом состоянии компании. Необходимо провести более глубокий анализ и выявить причины этого снижения, а также разработать стратегии для повышения финансовой устойчивости и прибыльности.

5. По показателям проекции «Цифра». Данные по проекции цифрового развития также представлены только за 2022 год. По всем трем показателям компания превысила целевой уровень.

Таблица 3.6.

Показатели эффективности функционирования ООО «ДЗМО»

№	Показатель	2019	2020	2021	2022
Проекция «Динамика»					
1	Темп прироста объемов производства	14,12	9,99	19,15	37,49
2	Темп прироста производительности труда	-0,70	25,59	5,21	24,15
3	Темп прироста прибыли	5,81	-1,52	30,45	61,83
Проекция «Ресурсы»					
4	Степень износа основных фондов	5,11	5,64	6,77	3,68
5	Инвестиции в основной капитал	3,96	3,13	3,20	3,18
6	Отношение зарплаты к средней по экономике	1,08	1,30	1,20	1,14
Проекция «Инновации»					
7	Внутренние затраты на исследования и разработки	0,00	0,02	0,02	0,01
8	Интенсивность затрат на инновации	0,00	7,15	5,40	7,37
9	Доля инновационной продукции	0,00	11,40	10,98	13,58
Проекция «Финансы»					
10	Рентабельность продаж	120,07	92,90	88,43	100,36
11	Коэффициент текущей ликвидности	884,53	834,54	795,04	832,16
12	Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	74,76	88,02	84,44	82,13
Проекция «Цифра»					
13	Использование цифровых технологий	-	-	-	6
14	Использование отдельных ИТ	-	-	-	4
15	Использование программных средств	-	-	-	8

Источник: составлено автором по данным предприятия.

Анализ таблицы 3.6 позволяет сделать следующие выводы:

1. По показателям проекции «Динамика». Предприятие демонстрирует положительную динамику в росте объемов производства, производительности труда и прибыли. Некоторые годы показывают особенно значительный рост, однако есть и периоды со снижением. На наш взгляд, целесообразно

проанализировать причины этих колебаний и разработать стратегии для обеспечения более стабильного и устойчивого роста.

2. По показателям проекции «Ресурсы». Предприятие успешно инвестирует в основной капитал, что позволяет ему поддерживать оборудование в хорошем состоянии. Однако важно обратить внимание на резкое увеличение степени износа основных фондов в 2022 году и разработать стратегию по их обновлению или замене. Стабильное отношение зарплаты к средней по экономике может говорить о социальной устойчивости организации.

3. По показателям проекции «Инновации». Хотя доля инновационной продукции превышает целевой ориентир, можно зафиксировать снижение интенсивности затрат на инновации, особенно в 2022 году. Это сигнализирует о потенциальных проблемах в инновационной деятельности компании, которые требуют дополнительного анализа и корректировки стратегии в этой области.

4. По показателям проекции «Финансы». Организация демонстрирует положительную динамику в финансовых показателях, таких как рентабельность продаж и коэффициент обеспечения собственными оборотными средствами. Однако коэффициент текущей ликвидности имеет изменчивую динамику, что может требовать дополнительного внимания и анализа.

5. По показателям проекции «Цифра». Данные по проекции цифрового развития также представлены только за 2022 год. По всем трем показателям компания превысила целевой уровень.

На рис. 3.2–3.4 показаны обобщенные индексы анализируемых предприятий по разнообразным проекциям, рассчитанные по формуле (3). При расчетах использовались равные весовые коэффициенты, при нормализации показателей для свертки задействовались выражения (1) и (2). Пунктирной горизонтальной линией на гистограммах показаны целевые ориентиры,

которые после нормировки данных оказались равны 0,5.

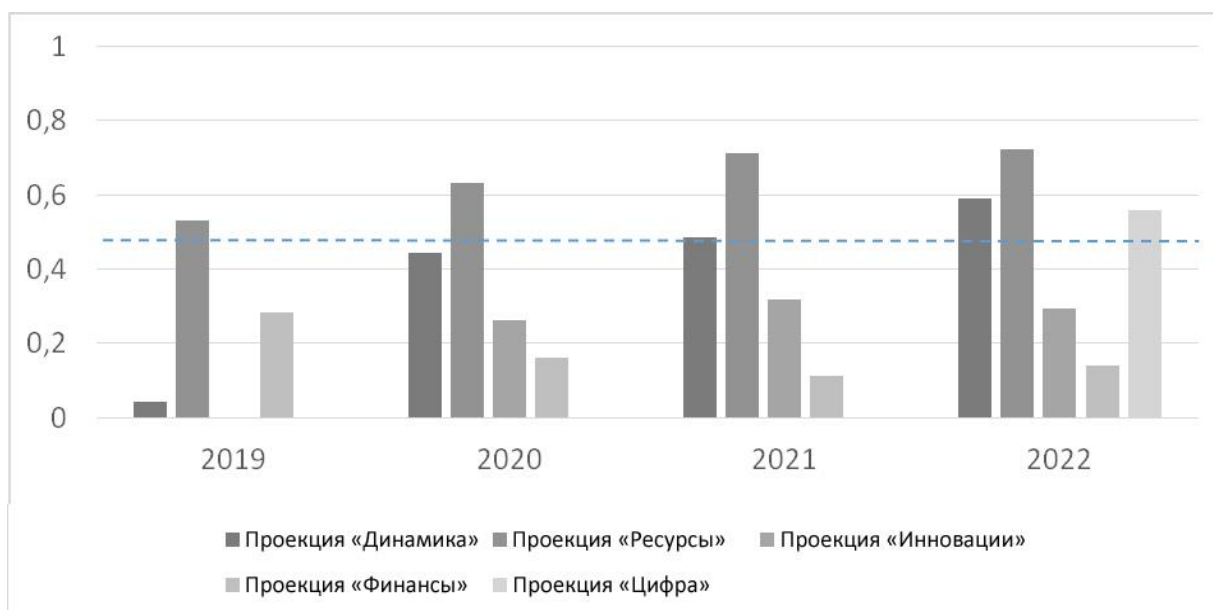


Рис 3.2. Динамика обобщенных индексов ООО «Метпром»
Источник: составлено автором.

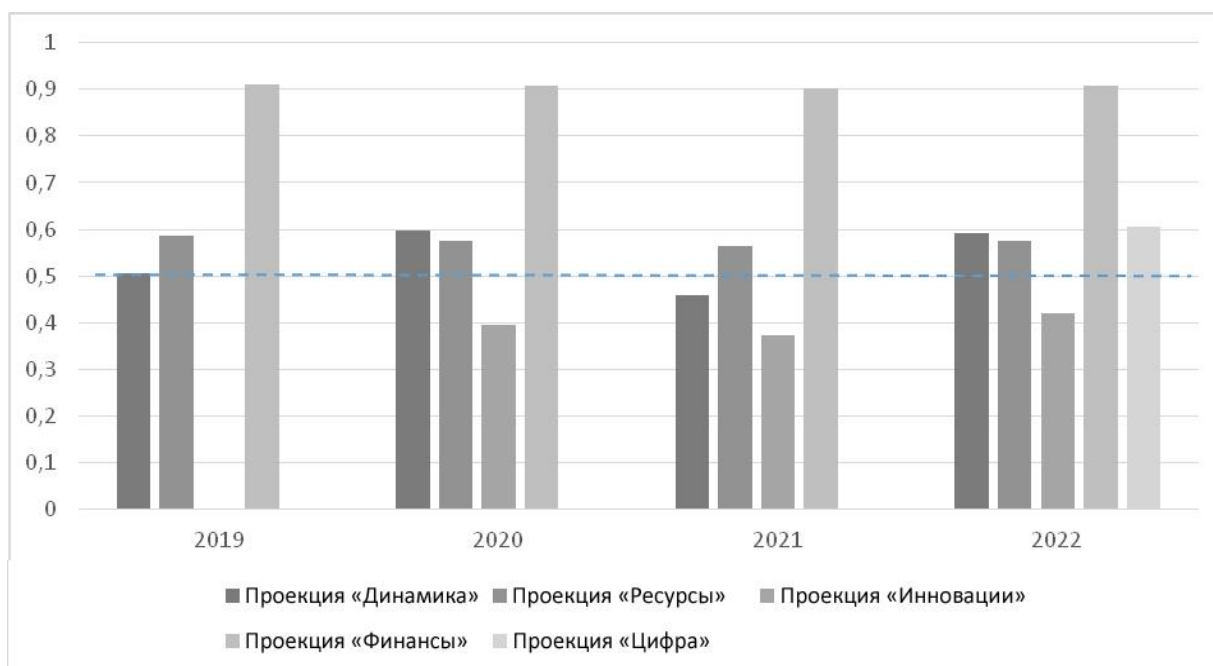


Рис 3.3. Динамика обобщенных индексов ООО «Лоймина»
Источник: составлено автором.

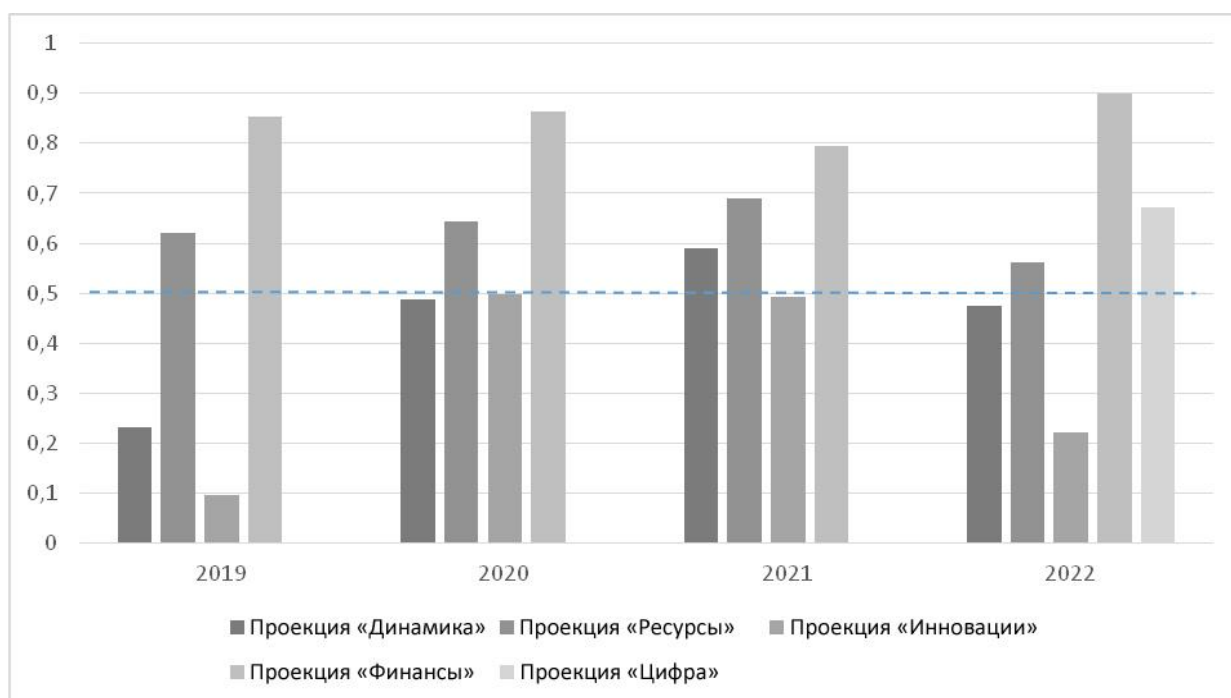


Рис 3.4. Динамика обобщенных индексов ООО «ДЗМО»

Источник: составлено автором.

Анализ рис. 3.2–3.4 позволяет констатировать следующее.

1. Несмотря на то, что все обобщенные показатели по проекциям ООО «Метпром» показывают рост с течением времени, некоторые из них все еще остаются ниже установленного целевого ориентира (0,5). Необходимо более детальное исследование и анализ причин таких расхождений для разработки стратегий улучшения.

2. Обобщенные индикаторы по проекциям для ООО «Лоймина» демонстрируют рост с течением времени и превышают установленный целевой ориентир для обобщенного индикатора в 0,5. Это свидетельствует о положительной динамике — и, вероятно, о выполнении ожидаемых целей и стратегий в каждой из этих областей.

3. Хотя некоторые проекции ООО «ДЗМО» (такие, как «Динамика») приближаются к целевому ориентиру, другие (такие, как «Инновации») остаются ниже референсного уровня. Индикаторы проекции «Финансы» демонстрируют стабильный уровень выше целевого ориентира. Данные по проекции «Цифра» также превышают целевой ориентир в 2022 году.

На рисунке 3.5 даны обобщенные индексы для рассматриваемых предприятий, рассчитанные по формуле (4). При расчетах использовались равные весовые коэффициенты.

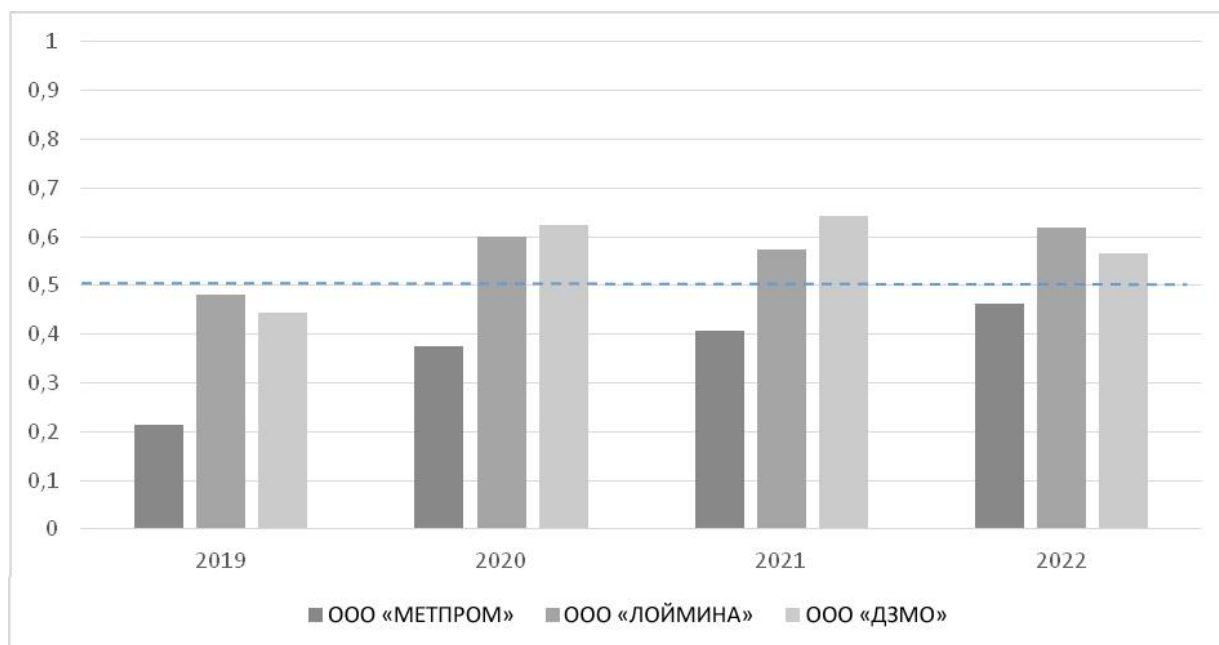


Рис 3.5. Динамика обобщенных индексов эффективности функционирования производственных систем

Источник: составлено автором

По значению интегрального индекса все три компании демонстрируют положительную динамику. Среди рассматриваемых организаций только ООО «Метпром» не достигает целевого ориентира по интегральному индексу за рассматриваемый временной интервал.

На основании апробации методики можно предложить следующие управленческие решения для каждой организации.

Так, для ООО «Метпром» ключевыми управленческими решениями выступает усиление контроля за финансовыми потоками и ликвидностью компании. Важно оптимизировать структуру оборотных средств и улучшить политику управления кредиторской и дебиторской задолженностью. Кроме того, необходимы значительные инвестиции в модернизацию оборудования для снижения степени износа основных фондов. В сфере инноваций компании

следует увеличить затраты на исследования и разработки, чтобы повысить долю инновационной продукции. Дополнительно требуется активное внедрение цифровых технологий для автоматизации процессов и повышения эффективности.

ООО «Лоймина» стоит сфокусироваться на увеличении внутренних затрат на исследования и разработки для усиления инновационной составляющей своего бизнеса. Это позволит увеличить долю инновационной продукции и укрепить свои конкурентные позиции на рынке. Также необходимо проанализировать причины снижения рентабельности продаж и внедрить меры для ее повышения, возможно, пересмотреть ценообразование и операционные процессы. Важно также направить дополнительные инвестиции на обновление основных фондов, чтобы снизить износ оборудования и поддерживать его эффективность.

Для АО «ДЗМО» первоочередным управленческим решением должна стать стабилизация производительности труда — что потребует анализа причин ее колебаний и внедрения мер по повышению стабильности. Не менее важным направлением выступает увеличение затрат на инновационные разработки и исследования, что позволит повысить долю инновационной продукции и улучшить конкурентоспособность. Также стоит обратить внимание на обновление основных фондов и разработать долгосрочную программу модернизации оборудования, чтобы снизить его износ и обеспечить устойчивое развитие производственных процессов.

Таким образом, в данном параграфе диссертации разработана методика оценки эффективности функционирования производственных систем. Отличительной особенностью методики выступает учет показателей, характеризующих цифровые аспекты деятельности производственной системы и показатели использования систем искусственного интеллекта.

3.3. Рекомендации по совершенствованию подходов к управлению производственными системами

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 15.02.2024 № 124 «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" и в Национальную стратегию, утвержденную этим Указом», общий объем оказанных услуг по разработке и реализации решений в области искусственного интеллекта к 2030 году должен достигнуть 60 млрд. руб. Предполагается активизация процессов цифровизации государственных институтов на основе внедрения технологий искусственного интеллекта и машинного обучения. В свою очередь, промышленные предприятия и кластеры производств, представляя собой фундаментальный драйвер развития экономики, должны быть приоритетом этого внедрения [4].

Совершенствование управления на основе систем искусственного интеллекта является комплексной и сложной задачей, включающей перечень составляющих, объединяющих триаду информационно-аналитической поддержки менеджмента организации: данные, инструментарий, обоснованные выводы и прогнозы. Цифровая трансформация экономики является комплексным процессом, императивом для промышленных систем. Методы машинного обучения составляют один из ключевых инструментов анализа и прогнозирования эффективного развития организации в современных условиях. Для обеспечения задач цифровой трансформации целесообразно рассмотреть ряд рекомендаций, обобщающих исследования в области совершенствования управленческих существующих подходов. Структурная схема, обобщающая перечень разработанных рекомендаций, представлена рисунке 3.6 [80].



Рисунок 3.6. Рекомендации по совершенствованию управления производственными системами
Источник: составлено автором.

Первая рекомендация касается разработки и внедрения цифровых двойников, способствующих развитию цифровых технологий анализа данных, необходимых для качественного управления. Цифровые двойники позволяют построить компьютерную модель реального объекта, поместить ее в среду планируемой эксплуатации, выявить сильные и слабые стороны, снизив возможные риски, связанные с промышленной эксплуатацией и внедрением опытных образцов. Инструментарий цифровых двойников представляет собой обобщение и развитие существующих подходов к компьютерному моделированию. Цифровые двойники представляют собой больше, чем математические модели, представляя всю промышленную систему в комплексе, имитируя взаимосвязи и влияние ее субъектов друг на друга.

Благодаря использованию цифровых двойников достигается рост производительности: модель предоставляет доступ к мониторингу и анализу параметров в реальном времени, отслеживанию критической инфраструктуры и минимизации рисков выхода составляющих производственной системы из

строю. С учетом фактических показаний датчиков формируется репрезентативная выборка статистических значений, позволяющая строить прогнозы и предвосхищать угрозы функционирования технологического оборудования. Переход к концепции индустрии 4.0 в числе прочего предполагает значительную децентрализацию производства. Виртуальная среда, в которых реализованы цифровые двойники, позволяет проводить удаленный мониторинг функционирования отдельных установок или производственных линий, что значительно повышает общую эффективность производства. Цифровые двойники позволяют добиться системного улучшения сценарного моделирования, предоставляя возможности для оценки параметров функционирования оборудования без необходимости построения натуральной модели или проведения дискретных численных экспериментов.

Современный этап развития сетей передачи данных характеризуется развитием мобильного широкополосного интернета, разработкой и реализацией сервисов, меняющих привычные действия с применением цифровых технологий. На сегодняшний день технологии интернета вещей (IoT), ресурсная база и алгоритмы которых существенным образом эволюционировали за последнюю декаду, органично встраиваются в методологию цифрового прототипирования. Использование интернета вещей позволяет связать производство в единую цифровую среду и обеспечить эффективное взаимодействие в рамках реализации комплексной задачи.

Перспективным развитием существующих методов обеспечения информационной поддержки принятия управленческих решений является машинное обучение и технологии интеллектуального анализа данных. Современные вычислительные системы, производительность которых экспоненциально возростала последние тридцать лет, представляют собой эффективный инструмент агрегирования, накопления, хранения и анализа данных. Инструментарий имитационного моделирования, обладающий ключевой ролью в задачах обработки и анализа данных, предполагает

эффективное применение методов искусственного интеллекта.

Методы машинного обучения являются эффективным средством анализа производственных процессов и систем. С применением регрессионных моделей производится анализ технических характеристик в сложных производственных системах, строятся прогнозы и осуществляется оценка значимых показателей. Например, множественная регрессия позволяет выявить влияние изменяющихся параметров функционирования оборудования на технологические процессы — и соответствующим образом спрогнозировать и адаптировать целевые показатели с учетом факторов износа, изменения качества и объемов производства.

В настоящее время значительную популярность снискали нейросетевые модели оценки и прогнозирования, которые активно используются при управлении сложными технологическими системами. Так, например, температурные датчики в процессе промышленной сушки могут быть заменены на выходные данные нейронной сети и модели нечеткой логики [187]. Инструментарий машинного обучения может (и должен) не только эффективно применяться в оценке и прогнозировании, но также работать в комплексе с цифровыми двойниками. Цифровое прототипирование открывает возможности для многократной постановки экспериментов в виртуальной среде, позволяющих выявить недостатки и исключить их на реальном прототипе [185]. Благодаря цифровому моделированию возникает возможность накопить статистические данные, в дальнейшем используемые для анализа. При этом, например, нейросетевое моделирование позволяет выявить неочевидные факторы, оказывающие влияние на ключевые параметры технологической системы.

Следующей рекомендацией по совершенствованию производственных систем является внедрение интеллектуальных робототехнических решений для повышения эффективности производства. Уровень автоматизации технологических процессов непрерывно возрастал со времен промышленной

революции и внедрения конвейерного производства. Современный этап характеризуется широким применением ЧПУ-станков, SCADA-систем, PLM-контроллеров и систем автоматизированного проектирования, однако для непрерывного функционирования производственных систем необходим мониторинг и корректирование параметров при участии специалиста. Технологии искусственного интеллекта позволяют значительным образом уменьшить человеческий фактор в производстве, снизить прямые и косвенные издержки и обеспечить высокую безопасность производства благодаря мониторингу и предвосхищению угроз.

Автоматические системы обеспечивают снижение вовлеченности человеческого труда, что положительно сказывается на эффективности, а также позволяет снизить нагрузку на обеспечивающие этот труд сферы экономики. Уменьшение числа сотрудников, привлекаемых к тяжелым условиям труда и работе на вредных производствах, снижает нагрузку на систему здравоохранения, учреждения санаторно-профилакторного лечения и открывает новые возможности для реинтеграции кадров в цифровую экономику.

Обобщением и развитием технологий искусственного интеллекта и анализа данных с применением цифровых двойников являются информационные системы поддержки принятия решений, предоставляющие комплексные инструменты для систематизации информации и управления производством. Внедрение СППР способствует автоматизации процессов обработки информации на основе машинного обучения и математических моделей, упрощает разработку цифровых прототипов, снижает неопределенность и способствует цифровому документообороту. Системы поддержки принятия решений позволяют обеспечить связь между разрозненными составляющими цифровой среды, непрерывную оценку данных, получаемых от технологического оборудования, учитывать действие внутренних и внешних факторов. Для обеспечения функционирования

современного производства применение информационных систем является не только необходимым, но и достаточным условием: организационная сложность, сложность применяемых технологий, влияние многочисленных внутренних и внешних факторов — все это определяет необходимость в цифровизации с применением СППР.

Цифровая инфраструктура требует также обеспечения защиты от киберугроз и профилактику корпоративного шпионажа. В современных условиях, когда уровень технологического развития является одним из основных факторов конкурентоспособности организации, обеспечение конфиденциальности чувствительной информации является необходимостью. Принятые протоколы в сфере кибербезопасности направлены на разграничение прав доступа сотрудников и противодействие внешним угрозам. Интеграция технологий искусственного интеллекта позволит моделировать потенциально опасные атаки, выявлять уязвимости и совершенствовать инфраструктуру организаций.

Цифровая экосистема предполагает унификацию протоколов взаимодействия технологического оборудования в условиях функционирования гетерогенных промышленных систем. Соблюдение стандартов, характеризующих как итоговое качество производимых продуктов, так и непосредственно процессы производства, позволяет построить эффективную производственную систему. Стандартизация бизнес-процессов, проводимая с учетом возможностей цифровых технологий, позволит повысить общую конкурентоспособность производства и системы управления, а также избежать проблем, связанных с уникальностью технологических цепочек и используемого программного обеспечения.

Развитие промышленной экосистемы, отвечающей задачам цифровизации экономики, невозможно без постоянного наращивания человеческого капитала. Этого можно добиться благодаря двум основным подходам: привлечению новых высококлассных специалистов и развитию

компетенций существующих. Обучение и адаптация персонала, выраженные в развитии профессиональных и коммуникативных навыков — приоритетный вектор развития современного предприятия. Эпоха ограничений, вызванных пандемией коронавируса, показала, что современный рынок труда является гибким и адаптивным механизмом рыночной экономики. Сотрудники работали удаленно, а рынок труда изменился, адаптировавшись к новым возможностям. В подобных условиях организации необходимо обеспечить возможности для личностного и профессионального роста, командную работу и благоприятные условия для формирования творческого и вовлеченного коллектива. Совмещая меры стимулирования (включающие обучение за счет компании и гибкий график там, где это возможно), развивая горизонтальные корпоративные связи и сохраняя дисциплину сотрудников, современная организация способна обеспечить высокую эффективность и стать желанным местом трудоустройства молодых и талантливых кадров.

Заключительный блок рекомендаций включает внедрение проактивных механизмов управления, в основе которых лежат прогнозирование и гибкие технологии менеджмента. Современные производственные системы, несмотря на необходимость сохранения последовательности технологических процессов, становятся ближе к компаниям IT-сектора — что по мере внедрения технологий искусственного интеллекта становится все более явным. В сфере информационных технологий гибкие стратегии — Scrum, Agile, Kanban — де факто являются одной из составляющих стандартов управления. В то же время для классического производства они не вполне подходят. Однако внедрение проактивных подходов, гибкого планирования и управления на основе интеллектуальных технологий позволит (благодаря цифровизации процессов поддержки принятия решений) внедрить лучшие практики из инструментария гибкого управления.

Обобщая вышеизложенное, отметим, что совершенствование управления производственными системами на основе методов искусственного

интеллекта является комплексной и многоаспектной задачей. Внедрение информационно-аналитических систем, интеллектуальных алгоритмов сбора, обработки и анализа информации является одним из основных драйверов развития современного производства. Необходимо соответствующим образом обеспечить адаптацию управления организации под цели и задачи цифровой экономики. Представленные в статье рекомендации направлены на оптимизацию цифровой трансформации производственных экосистем и способствуют построению эффективных моделей управления с применением интеллектуальных технологий анализа данных.

Изменение механизмов управления, совершенствование процессов принятия управленческих решений, повышение точности и быстродействие управления — приоритетные задачи современного менеджмента высокотехнологичной компании. Следует отметить перспективность совершенствования управления производственными системами с применением технологий машинного обучения анализа данных. В то же время, при разработке стратегий развития организации необходимо учитывать сложность и комплексность возникающих задач.

Выводы по главе 3

Третья глава диссертационной работы посвящена развитию методических аспектов диагностики и оценки эффективности управления производственными системами.

В первом параграфе главы предлагается модель диагностики производственных систем в условиях цифровой трансформации. Применение данной модели обеспечивает решение актуальных задач в производственной сфере — таких, как автоматизация бизнес-процессов, ускорение анализа данных, оперативное реагирование на изменения, прогнозирование

управляющих параметров, принятие эффективных управленческих решений и оптимизация затрат времени и ресурсов. Ключевой особенностью предложенной модели является интеграция многоуровневого анализа данных с механизмом обратной связи, что позволяет обеспечить динамическую адаптацию управленческих решений в режиме реального времени с учетом исторических данных. Особую роль в этой модели играют системы искусственного интеллекта, которые обеспечивают высокую скорость обработки информации, анализ сложных зависимостей и представление прогнозов для принятия оптимальных решений.

Во втором параграфе главы разработана методика комплексной оценки эффективности управления производственными системами. Методика включает в себя систему показателей, разделенную на пять проекций: динамика, финансы, ресурсы, инновации и цифровое развитие. Она предполагает этапы выбора показателей, сбора информации, нормализации данных, вычисления и анализа динамики интегральных индексов эффективности управления производственными системами. Отличительной чертой данной методики выступает учет цифровизации и использования искусственного интеллекта.

В заключительном параграфе диссертационного исследования даны авторские рекомендации по совершенствованию методических аспектов управления производственными системами в условиях цифровой трансформации. Рекомендации включают пять основных направлений: цифровизацию, внедрение интеллектуальных алгоритмов анализа данных и систем поддержки принятия решений, наращивание кадрового потенциала, а также механизмов проактивного планирования и управления на основе обоснованных прогнозов. Представленные рекомендации направлены на формирование комплексного подхода к совершенствованию управления производственными системами для соответствия актуальным задачам и вызовам цифровой экономики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Функционирование производственных систем в условиях цифровой экономики и новых геополитических вызовов требует серьезной модернизации управленческих подходов. В данной диссертации разработаны новые подходы к управлению производственными системами с применением искусственного интеллекта.

В работе предложена концептуальная модель управления производственными системами, состоящая из трех взаимосвязанных блоков: анализа (и формализации), прогнозирования и цифровой экосистемы. Модель отличается интеграцией экспертных знаний с технологиями искусственного интеллекта, а также акцентом на оперативной поддержке принятия решений. Данная особенность позволяет значительно повысить скорость и точность реакции на изменения в производственной среде.

В диссертации представлена авторская классификация систем искусственного интеллекта, позволяющая целенаправленно выбирать и применять подходящие технологии в зависимости от специфики и потребностей производственных систем. Использование разработанной классификации в задачах управления производственными системами позволяет более эффективно выбирать необходимые системы искусственного интеллекта в зависимости от конкретных задач управления производственными системами, обогащая существующие подходы к выбору эффективных технологий.

В диссертации разработана процедура управления производственной системой, обеспечивающая циклическое и непрерывное управление производственными системами с использованием технологий искусственного интеллекта, что позволяет оптимизировать операции, повышать эффективность процессов и оперативно реагировать на изменения в производственной среде.

В работе предложена модель диагностики производственной системы в

условиях цифровой трансформации. Практическое применение этой модели позволяет автоматизировать бизнес-процессы, увеличивать скорость анализа и оперативного реагирования — а также прогнозировать управляющие параметры и принимать более обоснованные управленческие решения, что ведет к снижению затрат времени и ресурсов.

В рамках исследования разработана методика комплексной оценки эффективности управления производственными системами. Она основана на авторской системе, включающей 15 индикаторов и 5 проекций (динамика, финансы, ресурсы, инновации и цифровое развитие). Методика позволяет проводить всестороннюю оценку эффективности управления и отслеживать тенденции развития производственной системы.

Полученные результаты могут быть использованы руководителями организаций и государственными структурами с целью совершенствования управления производственными системами в условиях цифровой трансформации. Будущие исследования сосредоточатся на расширении применения разработанных методов и моделей в различных отраслях и их адаптации к новым вызовам цифровой экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт федерального проекта «Искусственный интеллект» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (приложение № 3 к протоколу президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 27.08.2020 № 17). URL: <https://spa.msu.ru/wp-content/uploads/5-1.pdf> (дата обращения 04.03.2024).

2. Постановление Правительства РФ от 02.03.2019 г. № 234 (ред. от 07.12.2019) «О системе управления реализацией национальной программы "Цифровая экономика Российской Федерации"» // «Собрание законодательства РФ», 18.03.2019, № 11, ст. 1119.

3. Распоряжение Правительства РФ от 06.07.2021 № 3142-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402914382/> (дата обращения 04.03.2024).

4. Указ Президента Российской Федерации от 15.02.2024 № 124 «О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации" и в Национальную стратегию, утвержденную этим Указом». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402150063> (дата обращения 04.03.2024).

5. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения 04.03.2024).

6. ГОСТ Р 59277–2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация

системы искусственного интеллекта. М.: Стандартиформ, 2021. 16 с.

7. Азовская О. Н., Сярдова О. М. Методика оценки эффективности функционирования производственных процессов предприятия // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2016. Т. 5, № 2(15). С. 14–16.

8. Айларова З. К., Дзагоева М. Р. Системогенез основных видов производственных систем // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 288.

9. Акбердина В. В., Пьянкова С. Г. Методологические аспекты цифровой трансформации промышленности // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. Т. 227, № 1. С. 292–313.

10. Аксенова Е. И. Экспертный обзор развития технологий искусственного интеллекта в России и мире. Выбор приоритетных направлений развития искусственного интеллекта в России. М.: ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ». 2019. 38 с.

11. Алешин С. П., Бородина Е. А., Ляхов А. Л. Интеллектуальные технологии поддержки решений для систем безопасности объектов повышенного риска // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2013. № 15(158). С. 169–178.

12. Андреева Н. А., Угримова С. Н. К вопросу применения статистических методов интегральной оценки эффективности системы управления промышленными предприятиями // Учет и статистика. 2019. № 1(53). С. 42–49.

13. АНО «Цифровая экономика» изучила лучшие практики внедрения ИИ в российскую обрабатывающую промышленность. URL: <https://data-economy.ru/news/tpost/zfbdovnc01-anotsifrovaya-ekonomika-izuchila-luchsh> (дата обращения 24.02.2024).

14. Арджирис К. Организационное научение. М.: Инфра-М. 2004. 562 с.

15. Астанаева А. Э. Обзор методов распознавания образов // Scientific

evolution. 2020. Т. 1, № 1 (1). С. 58–63.

16. Бадалова А. Г., Дмитриев И. В. Концептуальная модель управления промышленными проектами в холдинговой компании // Вестник Южно-Российского государственного технического университета (НПИ). Серия: Социально-экономические науки. 2013. № 2. С. 110–114.

17. Балашов А. И. Производственный менеджмент (организация производства на предприятии). М. [и др.]: Питер, 2009. 159 с.

18. Баранова Л. С. Отечественный и зарубежный опыт формирования системы управления промышленными предпринимательскими структурами // Финансовые рынки и банки. 2021. № 12. С. 92–94.

19. Бездудная А. Г., Трейман М. Г. Бизнес–экосистемы компаний: конкуренция или сотрудничество, развитие цифровых подходов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 4(130). С. 129–134.

20. Беленцов В. Н., Рытова Н. А. Комплексная оценка результативной эффективности социально–экономических систем // Экономика строительства и городского хозяйства. 2020. Т. 16, № 3. С. 129–138.

21. Белов А. А., Малафеев А. В. Автоматизированная система мониторинга и анализа производственного процесса // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2005. № 4. С. 30–34.

22. Белова Е. Ю., Шевченко М. О. Трансформация систем менеджмента предприятий в контексте цифровизации // E-Management. 2023. Т. 6, № 1. С. 17–28.

23. Белотелов Н.В., Бродский Ю. И., Павловский Ю. Н. Сложность. Математическое моделирование. Гуманитарный анализ: исследование исторических, военных, социально-экономических и политических процессов. М.: ЛИБРОКОМ. 2009. 317 с.

24. Блауберг И. В., Юдин Э. Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука. 1973.

25. Блумфилд Ч. Внедрение сбалансированной системы оценочных

индикаторов: методология Microsoft Balanced Scorecard Framework // Microsoft Balanced Scorecard Framework. URL: <https://www.management.com.ua/strategy/str053.html> (дата обращения 21.04.2023).

26. Бобков А. Н., Славянов А. С. Искусственный интеллект в системе инструментального обеспечения производства // Инновации в менеджменте. 2024. № 2(40). С. 36–41.

27. Богданов А. А. Всеобщая организационная наука (тектология): [В 3-х ч.]. Л. М.: Книга, Ч. 1. 1925. 300 с.

28. Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование: учебное пособие, 2-е изд. М.: ИНТУИТ. 2016. 525 с.

29. Бурдин С. С., Бурдина А. А. Проблемы формирования инфраструктуры цифровой экономики // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2023. № 1. С. 75–78.

30. Бурков В. Н., Кондратьев В. В. Механизмы функционирования организационных систем. М.: Наука. 1981. 383 с.

31. Вайкок М. А. Понятие производственной системы промышленного предприятия и этапы ее развития // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. 2016. № 40–2. С. 105–117.

32. Вакуленко Р. Я. Методология оценки эффективности управления производственными системами: диссертация ... доктора экономических наук: 08.00.05. Орел. 2003. 304 с.

33. Валеева Ю. С., Исаева Н. С. Диагностика производственно-финансового потенциала промышленного предприятия // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 1. С. 38–43.

34. Васеев И. В. и др. Искусственный интеллект в промышленности. Центр стратегических разработок «Северо-Запад». [Электронный ресурс]. URL: <https://csr-nw.ru/publications/detail.php?ID=1826> (дата обращения: 05.11.2023).

35. Васильева Л. Н., Деева Е. А. Моделирование микроэкономических процессов и систем: учебник по специальности «Информационный

менеджмент». М.: КноРус. 2012. 392 с.

36. Вешнева И. В. Классификация технологий искусственного интеллекта // Информационные технологии в образовании. 2023. № 6. С. 72-83.

37. Вешнева И. В., Сингатулин Р. А. Разработка информационно-образовательных комплексов системы дистанционного обучения с обратной связью на основе фотограмметрических методов и статусных функций. Часть 2. // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2015. Т. 3, № 1(80). С. 125–132.

38. Володина Н. Л., Сироткина Н. В. Проблемы и перспективы структурного управления промышленными предприятиями в условиях цифровой экономики // Организатор производства. 2021. Т. 29, № 3. С. 73–90.

39. Воронцовский А. В. Цифровизация экономики и ее влияние на экономическое развитие и общественное благосостояние // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2020. Т. 36, № 2. С. 189-216.

40. Юрлов Ф. Ф., Яшин С. Н., Плеханова А. Ф., Ершова М. И. Выбор эффективных решений в экономике в условиях неопределенности внешней среды путем их ранжирования // Управление устойчивым развитием. 2021. № 5(36). С. 47–53.

41. Вэйдер М. Инструменты бережливого производства: мини-рук. по внедрению методик бережливого пр-ва (пер. с англ. А. Баранов, Э. Башкардин]. М.: Альпина Бизнес Букс: Центр ОргПром. 2005. 124 с.

42. Гастев А. К. Как надо работать: практическое введение в науку организации труда; под общ. ред. Н. М. Бахраха [и др.]. 3-е изд. М.: URSS: Либроком. 2011. 477 с.

43. Гарнов А. П. Оценка эффективности цифровой трансформации сетевых предприятий (внедрение цифровых технологий или цифровизации производственных и бизнес-процессов) // Российский экономический интернет-журнал. 2024. № 2.

44. Гарнов А. П., Славянов А. С. Проблема формирования новой производственной системы в условиях внешних ограничений // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2024. № 1. С. 93–99.
45. Гершун А. М., Горский М. Технологии сбалансированного управления. 2-е изд., перераб. М.: Маг Консалтинг: Олимп–Бизнес 2006. 413 с.
46. Головцова И. Г., Брежнев В. И. Стратегический вектор управления организацией в условиях цифровой трансформации экономики // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 3, № 4(136). С. 23–30.
47. Гончаров И. Л. Трансформация управленческих процессов под влиянием цифровизации // Инновации и инвестиции. 2020. № 9. С. 106–110.
48. Гринченко С. Н. Генезис искусственного интеллекта в системе Человечества: кибернетическое представление // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2020. Т. 16, № 3. С. 643–652.
49. Громова Е. А. Модель «Активного производства» как результат симбиоза современных производственных парадигм // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 12–2. С. 273–278.
50. Горелова Г. В., Мельник Э. В. Подход к разработке систем искусственного интеллекта для производственных процессов на основе композиции когнитивного, нейросетевого и агентного моделирования // SAEC. 2023. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-razrabotke-sistem-iskusstvennogo-intellekta-dlya-proizvodstvennyh-protsessov-na-osnove-kompozitsii-kognitivnogo> (дата обращения: 21.01.2024).
51. Городнова Н. В. Моделирование развития и внедрения систем «слабого» и «сильного» искусственного интеллекта: социально-экономические аспекты // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12, № 1. С. 123–140.
52. Городнова Н. В. Применение искусственного интеллекта в бизнес-сфере: современное состояние и перспективы // Вопросы инновационной экономики. 2021. Т. 11, № 4. С. 1473–1492.

53. Гришин А. А. Оценка параметров эффективности производственной деятельности обрабатывающих отраслей промышленности // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2013. № 10–1. С. 170–174.

54. Джеймс П. В., Джонс Д. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: ИНФРА-М. 2004. 268 с.

55. Доржиева В. В. Национальные приоритеты развития промышленного искусственного интеллекта в условиях новых технологических вызовов // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12, № 1. С. 111–122.

56. Дрогобыцкий И. Н. Системный анализ в экономике: Учебное пособие. М.: Финансы и статистика. 2013. 509 с.

57. Дудин М. Н., Шкодинский С. В. Тенденции, возможности и угрозы цифровизации национальной экономики в современных условиях // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11, № 3. С. 689–714.

58. Екимова К. В. Эффективные инструменты финансового менеджмента в условиях цифровой экономики // Цифровая экономика: тенденции и перспективы развития: сборник тезисов докладов национальной научно–практической конференции: в двух томах, Москва, 22-23 октября 2020 года. Том 2. М.: Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова. 2020. С. 194–196.

59. Ермолина Л. В. Виды показателей эффективности, возможности их применения для стратегического анализа деятельности промышленного предприятия // Основы экономики, управления и права. 2013. № 2(8). С. 54-59.

60. Ефремова А. А., Наземцева В., Анализ понятия «эффективность производства» с точки зрения современных ученых // Инновационная наука. 2015. № 11–1– С. 77–79.

61. Жуков Р. А. Оценка эффективности функционирования

иерархических социально-экономических систем // Мягкие измерения и вычисления. 2019. № 12(25). С. 56–64.

62. Захаров В. Я., Трофимов О. В., Фролов В. Г. Методологические аспекты развития сложных экономических систем в условиях цифровой трансформации промышленности // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2020. № 2(58). С. 14–24.

63. Иванов А. Ю., Плеханова А. Ф., Юрлов Ф. Ф. Принципы выбора эффективных решений в многоуровневых системах (на примере ГК «Росатом») // Экономика и предпринимательство. 2015. № 12–3(65). С. 671-674.

64. Ильин А., Сеницина Л. Планирование на предприятии: учеб. пособ. В 2 ч. Ч. 2. Тактическое планирование. Мн.: Новое знание. 2000. 416 с.

65. Власова В. В., Гохберг Л. М., Грачева Г. А. и др. Индикаторы инновационной деятельности: 2023: статистический сборник. Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ. 2023. 292 с.

66. Искандаров Д. З. Концептуальная модель процесса управления проектами развития промышленности в особых экономических зонах // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13, № 10. С. 3953–3976.

67. Ивахненко А. Г. Самообучающиеся системы с положительными обратными связями: Справочное пособие. Киев: [Изд-во АН УССР]. 1963. 328 с.

68. Как искусственный интеллект улучшает клиентский сервис. URL: <https://uprav.ru/blog/ai-and-customers/> (дата обращения: 21.01.2024).

69. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей: от стратегии к действию [пер. с англ. М. Павловой]. М.: Олимп-Бизнес. 2008. 294 с.

70. Китов А. И. Кибернетика и управление народным хозяйством // Кибернетику – на службу коммунизму: Сборник статей под редакцией А. И. Берга. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1961. Т. 1.

71. Клейнер Г. Б. Интеллектуальная экономика цифрового века.

Цифровой век: шаги эволюции р // Экономика и математические методы. 2020. Т. 56, № 1. С. 18–33.

72. Коваленко П. В., Барков И. М., Ершова И. Г. Оценка регионального развития цифровых технологий в инновационной экономике // Экономика и эффективность организации производства. 2023. № 37. С. 10-12.

73. Ковальчук Ю. А., Степнов И. М. Управление промышленными экосистемами в едином цифровом пространстве // Проблемы рыночной экономики. 2022. № 3. С. 107–121.

74. Козлов Я. В., Ладынин А. И. Интеллектуальная модель мониторинга управленческих процессов в сложных производственных системах // Журнал прикладных исследований. 2023. №S1. С. 44–49.

75. Козлов Я. В., Митяков Е. С. Классификации методов искусственного интеллекта в задачах управления производственными системами // Индустриальная экономика. 2022. Т. 4, № 1. С. 369–375.

76. Козлов Я. В., Ладынин А. И., Митяков Е. С. Концептуальная модель управления сложными производственными системами в условиях цифровой трансформации // Журнал прикладных исследований. 2023. № 9. С. 38–43.

77. Козлов Я. В. Особенности управления сложными производственными системами в период цифровой трансформации // Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций: материалы Международной научно-практической конференции. Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева. Нижний Новгород. 2024. С. 73–75.

78. Козлов Я. В. Математический анализ работы предприятия, оптимизация его прибыли // Российская научно-техническая конференция с международным участием. Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике: Сборник докладов конференции, Москва, 11-12 апреля 2019 года. М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2019. Т. 1. С. 234–236.

79. Козлов Я. В., Крюкова Т. М. Методика оценки эффективности

функционирования производственных систем в условиях цифровой трансформации // Инновации и инвестиции. 2024. №3. С. 498–502.

80. Козлов Я. В., Ладынин А. И. Рекомендации по совершенствованию управления производственными системами // Лидерство и менеджмент. 2024. Т. 11, № 2. С. 529–540.

81. Козлов Я. В., Митяков Е. С. Система показателей управления производственной системой в условиях цифровой трансформации // Инновации и инвестиции. 2024. № 2. С. 596–600.

82. Козлов Я. В., Митяков Е. С. Системы искусственного интеллекта в управлении производственными системами // Прикладные экономические исследования. 2024. №1. С. 213–220.

83. Козлов Я. В. Управление производственными системами: отечественный и зарубежный опыт // Прикладные экономические исследования. 2024. № 2. С. 142–151. (0,65 п. л.)

84. Кокуйцева Т. В., Овчинникова О. П. Методические подходы к оценке эффективности цифровой трансформации предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности // Креативная экономика. 2021. Т. 15, № 6. С. 2413–2430.

85. Коновалова Г. И. Концептуальная модель системы сбалансированного управления промышленным предприятием // Менеджмент в России и за рубежом. 2012. № 1. С. 112–118.

86. Концептуальное моделирование как основа проектирования сложных систем / В. А. Мохов, Д. В. Гринченков, Л. М. Власова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2018. № 2(198). С. 40–47.

87. Кормановская И. Р. Система сбалансированных показателей — эффективный инструмент стратегического и оперативного управления регионом // Региональная экономика: теория и практика. 2011. № 18. С. 42–47.

88. Корнилов Д. А., Юрлов Ф. Ф. Адаптационное стратегическое

планирование и прогнозирование: Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. 2007. 189 с.

89. Косарева И. Н., Самарина В. П. Особенности управления предприятием в условиях цифровизации // Вестник евразийской науки. 2019. Т. 11, № 3. С. 20.

90. Кочетков В. В., Ратушняк Е. С. Показатели оценки эффективности управления // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2017. № 3(97). С. 19.

91. Кузин Б., Юрьев В., Шахдинаров Г. Методы и модели управления фирмой. СПб.: Питер. 2001. 432 с.

92. Ладынин А. И., Яковлев В. А., Козлов Я. В. Теоретические аспекты обеспечения научно–технологической безопасности: анклавная модель // Финансовая экономика. 2022. № 10. С. 147–149.

93. Лапаев Д. Н., Морозова Г. А. Искусственный интеллект: за и против // Развитие и безопасность. 2020. № 3(7). С. 70–77.

94. Лапаев Д. Н., Митяков Е. С., Мокрецова Е. С. Мониторинг устойчивого развития отраслей промышленности на основе многокритериального подхода // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2013. № 5. С. 168–171.

95. Лапаев Д. Н. Сравнительная оценка эффективности инновационного развития экономических систем // Интеграл. 2011. № 6. С. 46–47.

96. Ленчук Е. Б. и др. Формирование цифровой экономики в России: вызовы, перспективы, риски. СПб.: Алтейя. 2020. 320 с.

97. Лецкий В. П., Давыдова Н. С. Методика формирования производственной системы промышленного предприятия холдинга (на примере ГК «Римера») // Вестник Удмуртского университета. Экономика и право. 2014. Вып. 3. С. 59–64.

98. Лимасов А. М., Митяков Е. С., Митяков С. Н. Мониторинг

инновационного развития IT-отрасли: сбалансированная система показателей // Инновации и инвестиции. 2023. № 3. С. 309–313.

99. Локтионов М. В. Системный подход в менеджменте: диссертация ... доктора философских наук: 09.00.08. М. 2002. 357 с.

100. Люггер Д. Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем. М: Изд. дом «Вильямс». 2003. 864 с.

101. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений // Управленческое консультирование. 2016. № 12(96). С. 16–25.

102. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Агент-ориентированная модель для мониторинга и управления реализацией больших проектов // Экономика и управление. 2017. № 4(138). С. 4–12.

103. Малышев Е. А., Ибрагимов А. А. Цифровизация экономических процессов в промышленности // Актуальные проблемы экономики и управления. 2022. № 1(11). С. 275–278.

104. Марков Д. А., Маркова Н. А. Быстрореагирующее производство как концепция повышения конкурентоспособности предприятия // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. 2016. № 2. С. 181–192.

105. Маслоу А. Г. Мотивация и личность [пер. с англ. Т. Гутман, Н. Мухина]. 3-е изд. М.: Питер. 2013. 351 с.

106. Махмудова А. И. «Эффект» и «эффективность» в оценке деятельности экономической системы // Актуальные вопросы экономических наук. 2011. № 18. С. 413–418.

107. Мейер М. В. Оценка эффективности бизнеса: что будет после Balanced Scorecard? [пер. с англ. А. О. Корсунский]. М.: Вершина. 2004. 269 с.

108. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем [пер. с англ.]. М.: Мир. 1973. 344 с.

109. Методические рекомендации по цифровой трансформации

государственных корпораций и компаний с государственным участием. Digital.gov.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/7342> (дата обращения: 22.01.2024).

110. Мизюн В. А. Интеллектуальное управление производственными системами и процессами: принципы организации и инструменты. Самара: Самарский научный центр РАН. 2012. 214 с.

111. Митяков Е. С., Козлов Я. В. Исследование уровня цифрового развития отраслей экономики России // Человек — Семья — Общество — Государство — Бизнес: формирование образа будущего России: материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции / под ред. Н. И. Обуховой, А. С. Черткова [Электронное издание]. М.: изд-во «МУ им. С. Ю. Витте». 2024. С. 141–148.

112. Митяков Е. С., Корнилов Д. А. К вопросу о выборе весов при нахождении интегральных показателей экономической динамики // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2011. № 3(90). С. 289–299.

113. Митяков Е. С. Развитие методологии и инструментов мониторинга экономической безопасности регионов России: диссертация ... доктора экономических наук: 08.00.05. Нижний Новгород. 2018. 360 с.

114. Митяков Е. С., Куликова Н. Н. Управление инновационной деятельностью при обеспечении экономической безопасности. М.: МИРЭА, Российский технологический университет. 2023. 100 с.

115. Мугутдинов Р. М., Горовой А. А. Особенности цифровой трансформации в промышленности // Вестник Академии знаний. 2022. № 48(1). С. 216–225.

116. Нарейко В. Г. Искусственный интеллект в управлении персоналом // Диалог. 2023. № 1(23). С. 50–53.

117. Некрасов И. В., Лежнин Д. В. Уточнение и интерполяция лабораторных измерений с помощью технологии виртуальных анализаторов // Автоматизация в промышленности. 2018. № 3. С. 31–34.

118. Нечаев В. И., Нечаев Ю. В. Система показателей состояния

производственного процесса // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. 2014. № 5–1. С. 161–166.

119. Нивен П. Р. Сбалансированная система показателей — шаг за шагом: Максимальное повышение эффективности и закрепление полученных результатов, 2009. URL: <http://www.balancedscorecard.ru/book4.htm>. (дата обращения 14.04.23).

120. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. Институт проблем управления (ИПУ РАН). Изд. 4-е, испр. и доп. М.: URSS, 2022 497 с.

121. Ньюстром Д. В., Дэвис К. Организационное поведение. Поведение человека на рабочем месте [Пер. с англ. Е. Бугаевой, В. Вольского]. СПб. и др.: Питер. 2000. 447 с.

122. О цифровой трансформации предприятия в контексте системной экономической теории / С. Н. Сильвестров, В. П. Бауэр, В. В. Еремин, Н. В. Лапенкова // Экономическая наука современной России. 2020. № 2(89). С. 22–45.

123. Орентлихер Г. Ф. Вспомогательные работы и вспомогательная рабочая сила на производстве. М., Л.: Соцэкгиз. 1933. 129 с.

124. Осадчук Е. В. Цифровизация промышленности: барьеры на пути внедрения искусственного интеллекта и предложения по их преодолению // Управление наукой: теория и практика. 2022. Т. 4, № 2. С. 201–209.

125. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Теоретические и технологические основы концепции проактивного мониторинга и управления сложными объектами // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 1(162). С. 162–174.

126. Оценка цифровой зрелости как первый шаг цифровой трансформации процессов промышленного предприятия. / И. В. Балахонова. Пенза: Изд-во ПГУ. 2021. 276 с.

127. Оценка эффектов реализации проектов развития производственной системы (на примере АО «Лыткаринский завод оптического стекла») / М. А. Абдулкадыров, А. Н. Игнатов, Н. Н. Куликова, Е. С. Митяков // Russian

Technological Journal. 2023. Т. 11, № 6. С. 76–88.

128. Пискун Е. И., Каруна К. И. Цифровой бизнес в региональном развитии // Экономика и управление: теория и практика. 2020. Т. 6, № 4. С. 34–40.

129. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. [Учеб. пособие для вузов]. М.: Высш. шк. 1989. 367 с.

130. Подтихова Н. Н. Применение сложного нормирования в оценке уровня финансовой безопасности угледобывающего предприятия // Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы: материалы X Международной научно–практической конференции ученых, специалистов, преподавателей вузов, аспирантов, студентов, Нижний Новгород, 25–27 мая 2022 года. Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева. 2022. С. 140–144.

131. Ползунова Н. Н. Цифровые технологии в деятельности предприятий текстильной промышленности и эффективность их применения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1(403). С. 40–44.

132. Пороховский А. А. Искусственный интеллект сегодня и завтра: политико-экономический подход // Экономическое возрождение России. 2020. № 3(65). С. 4–11.

133. Проблемы функционирования предприятий в цифровой экономике / О. В. Трофимов, Л. В. Стрелкова, И. Е. Мизиковский и др. М.: ООО «Издательство "Юнити–Дана"». 2019. 226 с.

134. Пунский Я. М. Изучение рабочего времени как метод рационализации: Пособие для рационализаторов нормировщиков и слушателей техникумов. Л.ОСНХ. Ленинградский институт повышения квалификации административного и инженерно-технического персонала. 2-е изд., испр. М., Л.: Гос. науч.-техн. изд-во. 1931. 119 с.

135. Развитие сложных экономических систем в условиях цифровой трансформации промышленности: теория, методология, практика / О. В. Трофимов, В. Я. Захаров, В. Г. Фролов, А. А. Павлова. М.: ООО «Первое

экономическое издательство». 2020. 290 с.

136. Разработка системы мониторинга с использованием имитационного моделирования / С. К. Андрюшкевич, С. С. Журавлев, Е. П. Золотухин и др. // Проблемы информатики. 2010. № 4(8). С. 65–75.

137. «Росатом» делится знаниями / под ред. В. А. Першукова, Д. С. Медовникова. М. 2012. 152 с.

138. Сафиуллин Д. Ф., Иваев М. И., Никульников Н. В. Бережливое производство как фактор повышения эффективности предприятия // Индустриальная экономика. 2023. № 2. С. 42–47.

139. Сбалансированная система показателей инновационного развития региона / Ю. М. Максимов и др. // Инновации. 2008. № 11(121). С. 95–98.

140. Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг (форма N 3-информ). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_52009/5f4cd84558e3cc0a405ddec5b732bb678c3fe033/ (дата обращения 14.04.24).

141. Сенчагов В. К., Митяков С. Н. Использование индексного метода для оценки уровня экономической безопасности // Вестник Академии экономической безопасности МВД России. 2011. № 5. С. 41–50.

142. Сергеев Т. В. Аналитический обзор цифровых технологий, преобразующих цепи поставок сетевой розницы // Вопросы инновационной экономики. 2020. № 1. с. 467–482.

143. Силифонкина С. В. Сбалансированная система показателей для диагностики устойчивого развития экономики региона // Экономический анализ: теория и практика. 2011. № 40(247). С. 48–56.

144. Симанков В. С., Теплоухов С. В. Аналитическое исследование методов и алгоритмов искусственного интеллекта // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2020. № 3(266). С. 16–25.

145. Сибирская Е. В. Методика оценки управления предприятиями на

основе системы индикаторов // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2011. № 3(15). С. 62–74.

146. Системный подход в менеджменте. URL: <https://bigenc.ru/c/sistemnyi-podkhod-v-menedzhmente-b362ba> (дата обращения 04.03.2024).

147. Системы извлечения данных. URL: <https://soware.ru/categories/data-extraction-systems> (дата обращения 04.03.2024).

148. Славянов А. С. Подходы к оценке ущерба от простоев, вызванных сбоями в логистических цепочках // Инновации в менеджменте. 2023. № 1(35). С. 58-64.

149. Спах А. Г. Основы нормирования рабочих процессов. ВСНХ УССР. Научно-исследовательский институт технического нормирования. Харків: Техн.-теор. вид. 1932. Т 1.

150. Спиридонова А. А., Хомутова Е. Г. Мониторинг процессов в системе менеджмента качества вуза // Университетское управление: практика и анализ. 2011. № 6(76). С. 37–43.

151. Способы нормализации переменных. URL: <https://neuronus.com/theory/nn/925-sposoby-normalizatsii-peremennykh.html> (дата обращения 24.03.23).

152. Сури Р. Время — деньги: конкурентное преимущество быстро реагирующих производств [пер. с англ. В. В. Дедюхина]. М.: Бином. Лаб. знаний. 2013. 326 с.

153. Тайманов Р. Е., Сапожникова К. В. Метрологический самоконтроль датчиков // Датчики и системы. 2011. № 2. С. 58–66.

154. Тампель И. Б., Карпов А. А. Автоматическое распознавание речи. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО. 2017. 152 с.

155. Теоретические аспекты обеспечения научно–технологической безопасности: императивный подход / А. И. Ладынин, В. А. Яковлев, Я. В. Козлов и др. // Финансовая экономика. 2022. № 10. С. 50–52.

156. Управление устойчивым развитием промышленности в условиях

цифровизации / В. Н. Андреев, В. В. Баранов, А. А. Бурдина и др. М.: ООО «Издательство "Янус-К"». 2022. 112 с.

157. Фалько С. Г. Бизнес–модели новых предприятий в условиях перехода к цифровой экономике // Инновации в менеджменте. 2018. № 3(17). С. 2–3.

158. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/>. (дата обращения: 04.03.2024).

159. Фоменко Н. М., Хамидуллин Р. Д. Концептуальные основы управления производственными системами в условиях удаленного доступа // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 6–2. С. 242–247.

160. Фомин П. А., Старовойтов М. К. Особенности оценки производственного и финансового потенциала промышленных предприятий // Корпоративный менеджмент. 2012. № 6. С.47–55.

161. Форд Г. Моя жизнь, мои достижения [пер. с англ.]. М.: Финансы и статистика. 1989. 205 с.

162. Форд Г. Сегодня и завтра [пер. с англ.]. М.: Финансы и статистика. 1992. 237 с.

163. Формирование цифровой экономики в России: проблемы, риски, перспективы: Коллективный научно–аналитический доклад. Inecon.org. [Электронный ресурс]. URL: https://inecon.org/docs/2018/Lenchuk_paper_20181220.pdf (дата обращения: 18.05.2023).

164. Херцберг Ф., Моснер Б., Снидерман Б. Мотивация к работе [пер. с англ. Д. А. Куликов]. М.: Вершина. 2006. 238 с.

165. Хенш III. Balanced Scorecard как инструмент стратегического менеджмента качества посредством DIN EN ISO 9001: 2001 // Технологии качества жизни. 2002. Т. 2. № 2. С. 33–40.

166. Ценообразование и искусственный интеллект: идеальное сочетание? URL: <https://keeprise.ru/tpost/nlsop1pns1-tsenoobrazovanie-i-iskusstvennii-ntelle> (дата обращения: 21.01.2024).

167. Цзинь Д. Цифровая трансформация отраслей экономики //

Экономика и социум. 2022. № 1–2(92). С. 335–338.

168. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях инновационной экономики / М. А. Измайлова, М. А. Морозов, Н. С. Морозова и др. М.: ООО «Издательство "Мир науки"». 2021. 296 с.

169. Цифровая экономика и искусственный интеллект: новые вызовы современной мировой экономики / К. В. Екимова, С. А. Лукьянов, Е. Н. Смирнов и др. М.: Государственный университет управления. 2019. 180 с.

170. 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. 120 с.

171. Цыганенко Д. А. Предприятие как объект автоматизации. Иерархическая и структурная модель информационной системы предприятия // Международный студенческий научный вестник. 2019. № 6. С. 9.

172. Чепкасова Е. А. Концептуальная модель системы стратегического управления промышленным предприятием // Региональные проблемы преобразования экономики. 2020. № 12(122). С. 14–20.

173. Черчмен У., Акофф Р., Арнофф Л. Введение в исследование операций [пер. с англ. В. Я. Алтаева и др.]. М.: Наука. 1968. 486 с.

174. Шанта М. В., Семенова Е. Г., Варжапетян А. Г. Система сбалансированных показателей как метод стандартизации и управления производством // Компетентность. 2017. № 8(149). С. 44–48.

175. Шкор О. Н., Севзюк Ч. А. Искусственный интеллект в Digital-маркетинге// Big Data and Advanced Analytics. 2020. № 6–3. С. 38–41.

176. Шмидт А. В. Управление развитием промышленного предприятия по экономическим критериям устойчивости: специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством», автореферат диссертации ... доктора экономических наук. Екатеринбург. 2013. 46 с.

177. Щедровицкий П. Г., Кузнецов Ю. В. Адам Смит о разделении труда

// Вопросы философии. 2016. № 5. С. 27–38.

178. Эренберг Р. Д., Смит Р. С. Современная экономика труда: Теория и гос. политика [пер. с англ.]. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1996. 777 с.

179. Эскиндаров М. А., Масленников В. В., Масленников О. В. Риски и шансы цифровой экономики в России // Финансы: теория и практика. 2019. Т. 23, № 5(113). С. 6–17.

180. Юрлов Ф. Ф., Яшин С. Н., Плеханова А. Ф. Выбор эффективных решений в конфликтных ситуациях с учетом интересов стейкхолдеров // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. 2021. Т. 12, № 3. С. 137–146.

181. Юрлов Ф. Ф., Яшин С. Н., Плеханова А. Ф. Методика выбора эффективных решений в условиях неопределенности внешней среды при прогнозировании жизненного цикла сложных технических объектов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2020. № 3(59). С. 46–51.

182. Янг С. Системное управление организацией [пер. с англ. Э. А. Антонов, А. В. Горбунов, Г. И. Шепелева]. М.: Советское радио. 1972. 454 с.

183. Abagissa J. The assessment of balanced scorecard implementation in the commercial bank of Ethiopia : The case of three branches in East Addis Ababa Districts // International Journal of Financial Management and Economics. 2019. Vol 2. P 16–23.

184. Aljarbough A., Ahmed Md., Guevara M., Dunka B. (2022). Intellectualization of information processing systems for monitoring complex objects and systems. Modern Innovations, Systems and Technologies. Vol. 2. pp. 9–17.

185. Andrey Ladynin, Alexander Yudin, Evgenii Mityakov, Polina Grosheva, Yuri Myakishev. Agent-based modeling in multi-level industrial ecosystems development. Revista Relações Internacionais do Mundo Atual Unicuritiba. Vol.4. n°42 (e-6557) p.703–716

186. Anuforo P. U., Ayoup H., Saidu N. Balance Scorecard Implementation

Challenges in Institution of Higher Learning: Overview of Prior Studies // American International Journal of Sosial Science Research. 2018. Vol. 2(2). P. 1–11

187. Artemova S. V., Ladynin A. I., Kamenskaia M. A., Kozlov Y. V., Shmeleva A. G. and Tri C. Vu, «Operating States Set Usage in Complex Technological Objects Control» 2023 Seminar on Electrical Engineering, Automation & Control Systems, Theory and Practical Applications (EEACS). Saint Petersburg, Russian Federation. 2023. P. 37–39.

188. Arzi Y., Roll Y. Real-time production control of an FMS in a produce-to-order environment. International Journal of Production Research. 1993. 31, 2195–2214. <https://doi.org/10.1080/00207549308956853>

189. Autio E., Zander I., «Lean internationalization». Academy of Management Proceedings. 2016. Vol. 2016, no. 1, art. 17420/ <https://doi.org/10.5465/ambpp.2016.81>

190. Bengio Yoshua. Learning Deep Architectures for AI // Foundations and Trends in Machine Learning. 2009. Vol. 2, № 1. P. 1–127.

191. Brege H. Exploring Proactive Market Strategies // Industrial Marketing Management. 2020. Vol. 84. P. 75–88.

192. Brynjolfsson E., Rock D., Syverson C. Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics // National Bureau of Economic Research. 2017. P. 46.

193. Castro D., McLaughlin M., Chivot E. Who Is Winning the AI Race: China, the EU or the United States?. Datainnovation.org. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.datainnovation.org/2019/08/who-is-winning-the-ai-race-china-the-eu-or-the-united-states> (дата обращения: 05.11.2023).

194. Cherepanov V. Границы цифровой трансформации промышленного предприятия. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/358891197_Granicy_cifrovoj_transformacii_promyslennogo_predpriatia (дата обращения 04.03.2024).

195. Chunhui L. The Relationship Between Organizational Factors and

Individual Innovation Performance: the Mediating Role of Proactive Behavior // Proceedings of the 4th International Conference on Humanities Education and Social Sciences (ICHESS 2021), Xishuangbanna, 24 Dec., 2021. Xishuangbanna. 2021. P. 1425–1434.

196. Clauberg R. Cyber-physical systems and artificial intelligence: chances and threats to modern economies // World Civilizations. 2020. № 3. P. 107–115.

197. Conceptual model development using a generic Features, Events, and Processes (FEP) database for assessing the potential impact of hydraulic fracturing on groundwater aquifers / Tatomir A [et al.] // Advances in Geosciences. 2018. Vol. 45. P. 185–192.

198. Croall I. F., Mason J. P. Industrial Applications of Neural Networks: Project ANNIE. Brussels-Luxembourg. Handbook-Springer-Verlag, ECSC-EEC-EAEC. 1992. 310 p.

199. Drivers of Innovation Activity in European Countries: Proactive vs. Reactive Approach / L. Kohnová, J. Papula, K. Stachová, Z. Stacho // Academy of Strategic Management Journal. 2020. № 21. P. 1–14.

200. Emerson H. The twelve principles of efficiency . New York: Engineering Magazine Co. 1913. 448 p.

201. Fabac R. Digital Balanced Scorecard System as a Supporting Strategy for Digital Transformation. Sustainability. 2022. 14. 9690. 10.3390/su14159690.

202. Georgeff M. (). Procedural Control in Production Systems. Artif. Intell. 1982. № 18. P. 175-201. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(82\)90039-X](https://doi.org/10.1016/0004-3702(82)90039-X)

203. Gilbreth F. B. Primer of scientific management. New York: Van Nostrand. 1914.

204. Gilbreth F. B. Lillian M. The Psychology of Management: the Function of the Mind in Determining, Teaching and Installing Methods of Least Waste. New York: Sturgis and Walton. 1914.

205. Ha S., Kang B. (2006). An Intelligent Process Monitoring System in Complex Manufacturing Environment. Frontiers in Artificial Intelligence and

Applications. Vol/ 138: Advances in Intelligent IT. P. 217–222.

206. Haseeb M., Mihardjo L. W., Gill A. R., Jermisittiparsert K. Economic impact of artificial intelligence: New look for the macroeconomic assessment in Asia-Pacific region. *Int. J. Comput. Intell. Syst.* 2019. № 12, P. 1295. <https://www.atlantispress.com/journals/ijcis/125921492> (accessed 24 March 2023).

207. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. Unsupervised learning. In *The Elements of Statistical Learning*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. 2009; P. 485–585.

208. Jimenez-Zarco A. I. Torrent-Sellens J., Martinez-Ruiz M.P. Proactive Orientation Effects on Product Innovation Activities: Empirical Evidence // *Innovation: Management, Policy & Practice*. 2012. № 14. P. 90–106.

209. Kimura O., Terada H. Design and analysis of Pull System, a method of multi-stage production control. *International Journal of Production Research*. 1981. № 19. P. 241–253. <https://doi.org/10.1080/00207548108956651>

210. Khojasteh Y., Sato R. . Selection of a pull production control system in multi-stage production processes. *International Journal of Production Research*. 2015. № 53. P. 436–4379. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.1001530>

211. Konichenko A. V., Ostrovskiy E. O., Uryaseva M. V. The model for computation of complex technical objects parameters based on subdefinite calculations. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. № 1843(1). 012008.

212. Kotsiantis S. B., Zaharakis I., Pintelas P. Supervised machine learning: A review of classification techniques. *Emerg. Artif. Intell. Appl. Comput. Eng.* 2007. № 160. P. 3–24

213. Kuhnle A., Kaiser J., Theiß F., Stricker N., Lanza G. Designing an adaptive production control system using reinforcement learning. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2020. № 32. P. 855 – 876. <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01612-y>

214. Lee J., Singh J., Azamfar M., Pandhare V. Industrial AI and predictive analytics for smart manufacturing systems // *Smart Manufacturing*. 2020. P. 213–244.

215. Lee K., Roh T. Proactive Divestiture and Business Innovation: R&D

Input and Output Performance // Sustainability. 2020. Vol. 12, iss. 9. P. 1–19.

216. Li H., Liu L. Production control in a two-stage system. *Eur. J. Oper. Res.* 2006. № 174. P. 887–904. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2005.03.036>

217. Li Y. Deep reinforcement learning: An overview. *arXiv* 2017. *arXiv:1701.07274*

218. Luger G., Stubblefield W. *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving* (5th ed.). The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. 2004. 720 p.

219. Mayo E. *The Human Problems of an Industrial Civilization* (1st ed.). Routledge. 2003. <https://doi.org/10.4324/9780203487273>

220. McCarthy J., Hayes P. J. Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence at the Wayback Machine (archived August 25, 2013). // In Meltzer, B., and Michie, D. (eds.), *Machine Intelligence 4*. Edinburgh: Edinburgh University Press/ 1969. P. 463–502.

221. McCarthy J. «Programs with Common Sense» at the Wayback Machine (archived October 4, 2013) // In *Proceedings of the Teddington Conference on the Mechanization of Thought Processes*. London: Her Majesty's Stationery Office. 1959. P. 756–791.

222. Mityakov E., Mityakov S., Kulikova N., Grosheva P., Ladynin A. Analyzing key factors influencing state policy planning for achieving industrial growth // *Revista Relações Internacionais do Mundo Atual Unicuritiba*. 2023. Vol.2, n°40. P. 1–21

223. Mönch L. Simulation-based benchmarking of production control schemes for complex manufacturing systems. *Control Engineering Practice*. 2004. № 15. P. 1381–1393. <https://doi.org/10.1016/J.CONENGPRAC.2006.05.010>

224. Nekrasov I., Lezhnin D. (2019). Технологии Искусственного интеллекта в задачах управления производством. URL: https://www.researchgate.net/publication/342673454_Tehnologii_Iskusstvennogo_intellekta_v_zadacah_upravlenia_proizvodstvom (дата обращения 04.03.2024).

225. Nguyen T. L., Nguyen T. V., Thai K. T. Firm Constraints on the Link

Between Proactive Innovation, Open Innovation and Firm Performance // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2019. № 5. P. 88.

226. Ohno T., Mito S. Just-in-Time for Today and Tomorrow. Cambridge, MA: Productivity Press. 1988. P.145.

227. Palacios M. L. P., Patino C. O. A. Impact of Proactive Orientation and Innovation on Exports. Case Colombia // Exhibition Opportunities: 3rd European International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM 2019), Pilsen, 23–26 July, 2019. Pilsen. 2019. P. 723–734.

228. Paolo Giudici. Applied data mining: Statistical Methods for Business and Industry. West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd. 2003. 364 p.

229. Radnor Z. Defining, justifying and implementing the Balanced Scorecard in the National Health Service // International Journal of Medical Marketing. 2016. Vol. 3(3). P. 174–188.

230. Roethlisberger F. J. Management and Morale. Harvard University Press. 1965. 194 p.

231. Segarra-Ciprés M., Escrig-Tena A., García-Juan B. Employees Proactive Behavior and Innovation Performance: Examining the Moderating Role of Informal and Formal Controls // European Journal of Innovation Management. 2019. Vol. 22. № 5. P. 866–888

232. Shane Butler. Prognostic Algorithms for Condition Monitoring and Remaining Useful Life Estimation. Faculty of Science and Engineering of National University of Ireland, Maynooth. 2012. 255 p.

233. Shmeleva A. G., Ladynin A. I. Industrial management decision support system: From design to software // Proceedings of the 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2019, Saint Petersburg-Moscow, 28–30 января 2019 года. Saint Petersburg-Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2019. P. 1474–1477.

234. Taylor F. W. The principles of scientific management. New York; London: Harper. 1911. 144 p.

235. Trentesaux D. Distributed control of production systems. Eng. Appl.

Artif. Intell. 2009. № 22. P. 971–978. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2009.05.001>

236. Van Roy V. AI Watch-National Strategies on Artificial Intelligence: A European Perspective in 2019. Joint Research Centre: Seville, Spain. 2020.

237. Unsworth K., Parker S. Proactivity and Innovation: Promoting a New Workforce for the New Workplace. Chichester: John Wiley & Sons. 2002. 196 p.

238. Weiss G., Schleiss P., Schneider D., Trapp M. Towards integrating undependable self-adaptive systems in safety-critical environments. Proceedings — International Conference on Software Engineering. 2018. P. 26–32.

239. Wu H., Evans G., Bae K. Production control in a complex production system using approximate dynamic programming. International Journal of Production Research. 2016. № 54. P. 2419 – 2432. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1086035>

240. Zhu L., Wang J., Liu J., Xu Z., Nasir M. S., Chen X., Wang Z., Sun S., Ma Q., Liu J., Feng J., Liang J., Yan W. In situ enrichment amplification strategy enabling highly sensitive formaldehyde gas sensor. Sensors and Actuators B: Chemical. 2022. 354 131206. DOI: 10.1016/j.snb.2021.131206

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Индикаторы использования цифровых технологий,
отдельных информационных технологий и специальных программных
средств**

Таблица А.1
Использование цифровых технологий

№	Наименование цифровой технологии	Использование в организации (0 — нет, 1 — да)
1	Персональные компьютеры	
2	Серверы	
3	Локальные вычислительные сети	
4	«Облачные» сервисы	
5	Технологии сбора, обработки и анализа больших данных	
6	Интернет вещей	
7	Технологии искусственного интеллекта	
8	Цифровые платформы	
	Итого	

Таблица А.2
Использование отдельных информационных технологий

№	Наименование информационной технологии	Использование в организации (0 — нет, 1 — да)
1	Мобильный интернет	
2	Проводной и беспроводной интернет	
3	Широкополосный доступ к интернету	
4	Веб-сайт в организации	
5	Обмен данными между своими и внешними ИС	
	Итого	

Таблица А.3

Использование специальных программных средств

№	Использование программного средства	Использование в организации (0 — нет, 1 — да)
1	Для научных исследований	
2	Для проектирования	
3	Для управления автоматизированным производством	
4	Для осуществления финансовых расчетов в электронном виде	
5	Для предоставления доступа к базам данных через глобальные сети	
6	Редакционно-издательские системы	
7	Технологии искусственного интеллекта	
8	Обучающие программы	
9	CRM-системы	
10	ERP- системы	
11	электронные справочно-правовые системы	
	Итого	