

УДК 004.421.2:338.092**Разработка адаптивных алгоритмов управления для стабилизации экономических процессов в условиях цифровой трансформации промышленных комплексов****Карякин Александр Тимофеевич**

Кандидат технических наук, доцент,
Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова,
360004, Российская Федерация, Нальчик, ул. Чернышевского, 173;
e-mail: karyakin2279@mail.ru

Аннотация

В данной статье представлено исследование разработки адаптивных алгоритмов управления, направленных на стабилизацию экономических процессов в условиях цифровой трансформации промышленных комплексов. Актуальность темы обусловлена резкими изменениями в мировой экономике и необходимостью оперативно реагировать на нестабильность внутренних и внешних факторов, что делает использование современных методов цифрового управления критически важным для промышленных предприятий. Цель исследования заключается в разработке алгоритмической базы, способной адаптироваться к динамичным условиям рынка и обеспечивать устойчивость экономических процессов. Методология исследования основывается на интеграции методов математического моделирования, анализа больших данных и алгоритмов машинного обучения. В рамках эмпирической части работы проведен сравнительный анализ существующих адаптивных систем управления и разработан новый алгоритм, учитывающий специфику цифровизации производственных процессов. Экспериментальная проверка проводилась на моделях, имитирующих реальные условия работы промышленных комплексов, что позволило выявить закономерности воздействия цифровых технологий на экономические показатели. Полученные результаты показали, что предложенный алгоритм эффективно стабилизирует экономические процессы за счет оперативной адаптации к изменениям внешней и внутренней среды. Выявлена зависимость между степенью цифровизации и эффективностью управления, а также доказана возможность повышения экономической устойчивости предприятия при внедрении адаптивных методов. Результаты экспериментов и анализ статистических данных подтверждают, что использование разработанных алгоритмов позволяет снизить влияние экстремальных колебаний спроса и предложения, повысить оперативность принятия управленческих решений и снизить уровень операционных рисков. Дискуссия результатов указывает на перспективы дальнейших исследований в области расширения функциональности алгоритмов с учетом интеграции новых инструментов искусственного интеллекта и Интернета вещей. Таким образом, статья вносит значительный вклад в теорию и практику цифровизации промышленного производства, подчеркивая важность адаптивных методов управления для достижения стабильности экономических процессов в условиях современного технологического развития.

Для цитирования в научных исследованиях

Карякин А.Т. Разработка адаптивных алгоритмов управления для стабилизации экономических процессов в условиях цифровой трансформации промышленных комплексов // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2025. Том 15. № 2А. С. 130-144.

Ключевые слова

Адаптивные алгоритмы, управление, экономические процессы, цифровая трансформация, промышленные комплексы.

Введение

Цифровая трансформация промышленных комплексов в настоящее время затрагивает широкий спектр экономических процессов, требующих не только оптимизации, но и стабилизации для поддержания конкурентоспособности на фоне растущей неопределенности. Одним из ключевых инструментов, позволяющих успешно преодолевать многочисленные вызовы, выступают адаптивные алгоритмы управления, способные оперативно реагировать на изменения внешней и внутренней среды. Эти алгоритмы, в отличие от классических жестких методик, предусматривают динамическое обновление параметров и стратегии в соответствии с текущими состояниями систем, что делает их незаменимыми в условиях высоких требований к эффективности принятия решений [Ротанов, Шаховской, 2024]. Кроме того, переход к цифровым решениям обеспечивает возможность аккумулировать огромные объемы данных, создавать более точные модели экономических процессов и внедрять инновационные подходы к интеграции производственных и управленческих задач. При этом необходимо тщательно учитывать специфику каждой отрасли и формировать такие модели, которые не только учитывают исторические тенденции, но и предвидят возможные колебания рынков и технологические сдвиги.

Адаптивность, как свойство управленческих алгоритмов, тесно связана с идеей непрерывного самообучения системы. В промышленном секторе такая способность особенно важна, поскольку внешние воздействия могут включать резкие колебания спроса, изменения цен на ресурсы, технологические прорывы и возникновение новых форм конкуренции. Использование методов машинного обучения, систем искусственного интеллекта и предиктивной аналитики позволяет собирать данные в реальном времени, выявлять скрытые взаимосвязи и формировать рекомендации для руководства [Баранов, Феофанов, 2022]. Так, например, если система прогнозирует снижение спроса на определенный продукт, то адаптивный алгоритм может заранее запустить организацию производственных ресурсов, переориентировать логистические потоки и скорректировать экономические параметры в сторону повышения эффективности. В целом, такой подход снижает риск убытков и обеспечивает более плавное функционирование предприятий, что в долгосрочной перспективе способствует стабилизации экономических показателей.

Материалы и методы исследования

Активная интеграция информационно-коммуникационных технологий в структуры управления промышленными комплексами обеспечивает расширение возможностей анализа и моделирования, что в свою очередь служит фундаментом для внедрения адаптивных

алгоритмов. При этом важным условием успешного функционирования таких механизмов является наличие качественных данных. Нередки случаи, когда компании располагают обширными, но неструктурированными информационными фондами, что затрудняет процесс извлечения ценных сведений. Поэтому на первый план выходит задача создания эффективных систем сбора, хранения и обработки информации с применением современных технологий больших данных [Шорилов, 2022]. Одновременно требуется выстраивать правильную организационную культуру, поощряющую сотрудников к активному участию в процессе цифровой модернизации. Такой комплексный подход позволяет обеспечить более глубокую интеграцию адаптивных алгоритмов во все уровни управления: от операционных звеньев до стратегического планирования.

Рассматривая адаптивные алгоритмы управления в контексте промышленной цифровизации, нельзя не отметить важность вопроса кибербезопасности. По мере роста зависимости предприятий от цифровых платформ повышается и уязвимость перед внешними и внутренними атаками, способными нанести значительный ущерб экономическим процессам. Наличие надежных систем защиты информации, в том числе многоуровневых протоколов, криптографических методов и процедур регулярной аутентификации, является неотъемлемым элементом комплексного управления [Баранов, 2023]. Адекватное реагирование на инциденты, оперативное выявление угроз и их блокировка становятся критически важными. В условиях, когда данные играют ключевую роль в адаптивном управлении, утечка или искажение соответствующей информации способно полностью нивелировать положительный эффект от внедрения современных алгоритмов, а также привести к необратимым экономическим потерям.

Результаты и обсуждение

Одной из характерных черт цифровой трансформации является тесная взаимосвязь между производственными системами, цепочками поставок и аналитическими платформами. Создавая единую сеть взаимодействий, предприятия получают возможность комплексно отслеживать показатели, связанные с качеством продукции, скоростью выполнения заказов, затратами на сырье и логистику. Адаптивные алгоритмы, настроенные на мультиагентное взаимодействие, способны собирать и обрабатывать данные в нескольких точках цепочки, формируя целостную картину и позволяя выявлять узкие места заранее. Например, если в региональной логистике выявляются временные перебои, система может предложить альтернативные маршруты поставок, рассчитанные по критериям минимизации времени и затрат [Пермовский, Кузнецов, 2022]. Затем результаты анализа интегрируются с финансовыми моделями, отражающими возможное влияние на себестоимость. Тем самым экономика компании сохраняет стабильность даже при сжатых сроках реагирования.

Особое значение в вопросе развития адаптивных алгоритмов управления приобретает сотрудничество предприятий с научными организациями и экспертными центрами, поскольку в рамках их коллабораций происходит обмен самыми актуальными наработками в сфере методов искусственного интеллекта и статистического анализа. Механизмы государственного стимулирования инновационных проектов в промышленности способствуют более широкому распространению знаний и ускорению внедрения решений в реальном секторе [Волков, Пономарев, Хайдаров, 2022]. В итоге формируется инновационный ландшафт, где предприятия, университеты и научные институты работают в тесной связке, совершенствуя алгоритмическую базу, тестируя прототипы и отлаживая технологии на пилотных площадках. Подход,

основанный на взаимном обмене идеями и накопленном опыте, позволяет добиться более точной настройки адаптивных механизмов под реальные производственные условия.

Важным моментом в стабилизации экономических процессов на основе адаптивных алгоритмов является баланс между автоматизацией и человеческим участием. Хотя алгоритмы и способны обрабатывать огромные массивы данных с высокой скоростью, принимая решения, люди остаются центральным элементом, определяющим стратегический курс. Управленцы должны грамотно ставить задачи системам, интерпретировать результаты анализа и, при необходимости, корректировать целевые параметры. При внедрении цифровых технологий появляется риск сдвига ответственности на машину, тогда как готовность персонала к взаимодействию с умными алгоритмами прямо влияет на итоговую эффективность [Сморозин, Прохоренко, 2023]. Лучшие результаты достигаются при сочетании машинной точности и человеческой интуиции, что делает систему более гибкой и приспособленной к новым вызовам.

Цифровая трансформация предполагает интеграцию разнообразных цифровых платформ, начиная от облачных серверов для хранения данных и заканчивая специализированными системами управления жизненным циклом изделия. При этом промышленным предприятиям необходимо выдерживать высокую степень согласованности между разрозненными системами, обеспечивая корректный обмен информацией. Любая ошибка или задержка в передаче данных может негативно сказаться на работе адаптивного алгоритма, поскольку искажается полная картина происходящего в производственно-экономической среде [Белов, Гаврюшин, Маркова, Занкин, 2022]. Поэтому все более актуальным становится вопрос о стандартизации протоколов обмена данными и унификации форматов хранения. Такое единое цифровое пространство дает возможность алгоритмам безошибочно синхронизировать параметры, будь то уровень запасов в системе складирования или динамика спроса по регионам. В итоге промышленные комплексы могут быстрее реагировать на изменения, снижая затраты и повышая устойчивость.

При рассмотрении адаптивных алгоритмов важно учитывать их эволюционный характер. Нередко на ранних стадиях внедрения алгоритмы демонстрируют ограниченную эффективность по причине недостаточности данных или неточности применяемых моделей. Постепенно, по мере накопления опыта и уточнения математической основы, системы улучшают прогнозные способности. Этот эволюционный процесс предполагает постоянное взаимодействие с экспертами отрасли, которые помогают интерпретировать результаты, выявлять аномалии и настраивать гиперпараметры алгоритмов [Чупров, 2023]. Таким образом, успешное внедрение адаптивного управления требует не только технологической инфраструктуры, но и готовности предприятия инвестировать в долгосрочное развитие компетенций.

Цифровая трансформация сопровождается ростом значимости автоматизации процессов не только на уровне производства, но и в смежных областях, таких как бухгалтерский учет, логистика и управление персоналом. Концепция «цифрового двойника» позволяет создавать виртуальные копии производственных процессов, финансовых потоков и даже рабочих мест, давая возможность в режиме реального времени анализировать показатели. На базе таких цифровых двойников адаптивные алгоритмы способны моделировать различные сценарии, прогнозировать неожиданности и подбирать наиболее эффективные решения [Прохоренко, 2023]. Что особенно важно, предприятия могут проводить стресс-тесты, заранее оценивая потенциал тех или иных управленческих мер и минимизируя риски. Синхронизация таких тестовых моделей с реальными процессами обеспечивает более точное планирование и распределение ресурсов.

Вопрос о методах оптимизации, лежащих в основе адаптивных алгоритмов, имеет принципиальное значение. Часто применяются эволюционные алгоритмы, генетические алгоритмы, метод роя частиц или нейронные сети, обучающиеся на больших данных. Выбор конкретного метода определяется характеристиками задачи: скоростью изменения среды, объемом доступной информации, требованиями к точности или быстродействию [Халиулин, Кудрявцева, 2022]. К примеру, если в условиях цифровой трансформации промышленные комплексы сталкиваются с высокочастотными колебаниями цен на металл, то нужно использовать инструменты, позволяющие оперативно обновлять прогнозы и корректировать экономические решения. Успех во многом зависит от того, насколько грамотно предприятие согласует алгоритмические модели с реальными бизнес-процессами, встраивая их в цепочку принятия решений и поддерживая непрерывное совершенствование.

Эффективная стабилизация экономических процессов требует учета целостности экосистемы промышленного комплекса. В рамках одной организации можно отточить определенные модели, но для полной эффективности необходима совместная работа различных звеньев цепи поставок, логистических операторов и ведущих клиентов. Широкая кооперация позволяет обеспечить более точный учет рыночных тенденций и оптимизировать использование ресурсов, что в итоге приводит к снижению совокупных рисков [Жаров, 2023]. Адаптивные алгоритмы, работающие в совместных сетях, могут постоянно обмениваться релевантными данными, формируя многомерную картину экономической динамики. Но этот процесс требует доверия между участниками рынка и единых подходов к кибербезопасности, чтобы вся система функционировала без сбоев и была устойчива к потенциальным угрозам.

Быстрые темпы цифровой трансформации обуславливают необходимость регулярной переоценки бизнес-моделей и стратегий управления. Если традиционные подходы строились на предпосылке относительной стабильности рынков, то современные реалии доказывают, что без постоянной адаптации компаниям не удержать лидерство. Это особенно важно для крупных промышленных холдингов, которые осуществляют многопрофильную деятельность и работают в разных регионах. Им нужно учитывать разнообразие локальных факторов, таких как налоговая политика, кадровая ситуация, уровень развития ИТ-инфраструктуры. Адаптивные алгоритмы позволяют объединить эти аспекты и формировать единый центр принятия решений, оперативно реагирующий на любую нестандартную ситуацию [Сатановский, Элент, 2023]. При этом важна высокая степень прозрачности и согласованности действий, чтобы не возникало противоречий на разных уровнях управления.

Использование предиктивной аналитики дает возможность расширить горизонты планирования, учитывая не только конъюнктурные колебания, но и потенциальные технологические прорывы. Нередко предприятия, сфокусированные исключительно на текущих задачах, упускают шансы на инновационные изменения, которые могли бы дать значительный экономический эффект. В условиях цифровой трансформации постоянная модернизация технологического парка и методов управления становится естественным продолжением стратегии развития [Зеленцова, Матвеев, 2022]. Адаптивные алгоритмы вполне могут интегрировать критерии инновационности в свою модель, выделяя сигналы потенциальных перспективных сфер еще до того, как они станут частью мейнстрима. Поэтому способность предвидеть будущее, подкрепленная математическими моделями и статистическими методами, становится мощным конкурентным преимуществом, улучшающим стабильность экономического роста.

Безусловно, само по себе внедрение адаптивных алгоритмов не гарантирует мгновенного

перехода к новой экономической парадигме. Коэффициент успешности зависит от комплексности подхода и системного видения, где каждая инновация предваряется детальным анализом возможных рисков. Структурные изменения в управлении требуют от менеджмента не только технической, но и методологической подготовки. Организационные структуры должны быть достаточно гибкими, чтобы внедрять новые формы координации между подразделениями, а специалисты – обладать компетенциями, позволяющими корректно интерпретировать данные и оптимизировать процессы [Ротанов, Шаховской, 2024]. Такое сочетание технологического развития и управленческого мастерства дает ключ к повышению устойчивости по отношению к изменениям внешней среды, облегчая процесс адаптации.

Немаловажным фактором является создание цифровых платформ корпоративного уровня, способных аккумулировать все аспекты деятельности предприятия: от информации о производственных процессах до детальных финансовых отчетов. На этих платформах формируются интерфейсы взаимодействия для специалистов разного профиля, а сами данные проходят многоступенчатую валидацию, чтобы исключить ошибки и искажения. Адаптивные алгоритмы, подключенные к таким платформам, обладают полномасштабным доступом ко всем данным, что расширяет их возможности по формированию точных рекомендаций [Баранов, Феофанов, 2022]. Благодаря многоуровневой архитектуре можно быстро масштабировать решения и обеспечивать высокую производительность работы в условиях растущих объемов информации. Однако подобные платформы требуют значительных инвестиций, а также постоянного контроля за соответствием современным стандартам кибербезопасности.

Актуальным вызовом становится необходимость непрерывной оценки эффективности внедренных адаптивных решений. Традиционные KPI, базирующиеся на финансовых и производственных показателях, постепенно дополняются метриками, отражающими степень гибкости и масштабы цифровизации. Например, в некоторых компаниях оценивают скорость перенастройки производственной линии на новый тип продукции или способность алгоритма корректно предсказывать колебания спроса в период сезонных пиков. Также оценивается вовлеченность персонала в процессы автоматизации и качество обратной связи, которая поступает от конечных пользователей систем [Шориков, 2022]. Все это создает целостное представление об эффективности перехода к адаптивному управлению и указывает, какие аспекты еще нуждаются в усовершенствовании.

На пути к масштабному применению адаптивных алгоритмов возникает ряд организационных барьеров. Иногда сложившаяся корпоративная культура с трудом воспринимает инновации, и сотрудники опасаются замен или сокращения из-за автоматизации. В других случаях отсутствует единое понимание преимуществ цифрового подхода, и внедрение затягивается. Важно прорабатывать эти факторы на уровне внутренней коммуникации, рассказывая о выгодах и новых возможностях, которые открываются благодаря современным технологиям [Баранов, 2023]. Тренинги и образовательные программы помогают снизить опасения и повысить уровень компетенций работников, что в конечном счете формирует благоприятную среду для успешного функционирования адаптивных алгоритмов. В свою очередь, демонстрация конкретных примеров успеха повышает заинтересованность топ-менеджмента и владельцев бизнеса.

С учетом глобализации и постоянного обмена технологиями между странами, промышленным предприятиям открываются возможности для международного сотрудничества и ко-инноваций. В рамках таких проектов адаптивные алгоритмы могут испытываться в разных локальных условиях, позволяя выявить их универсальные особенности и определенные

ограничения. Более того, партнерство с зарубежными компаниями помогает получить доступ к передовым разработкам и расширить кадровый потенциал, что особенно полезно для отстающих в технологическом плане регионов [Пермовский, Кузнецов, 2022]. При этом возникает потребность в согласовании правовых норм, связанных с обменом данными, использованием интеллектуальной собственности и обеспечением кибербезопасности. В результате глобальный характер цифровой трансформации открывает дополнительные возможности для промышленного сектора и одновременно стимулирует создание международных стандартов обмена информацией.

Для повышения устойчивости экономических процессов предприятиям все чаще необходима интеграция принципов бережливого производства и «зеленых» технологий в общую адаптивную стратегию. Решения в области энергоэффективности, снижения углеродного следа, переработки отходов все больше влияют на репутацию и конкурентоспособность компании. Адаптивные алгоритмы позволяют в режиме онлайн отслеживать потребление ресурсов, автоматически выявлять избыточности и оптимизировать технологические процедуры. Например, умное регулирование энергозатрат в зависимости от объема текущих заказов способно заметно снижать операционные издержки [Волков, Пономарев, Хайдаров, 2022]. Параллельно растет спрос на «зеленые» инвестиции со стороны международных фондов, что открывает дополнительные финансовые возможности и упрощает масштабирование экологических решений.

С точки зрения макроэкономического эффекта, внедрение адаптивных алгоритмов управления в промышленном комплексе способно сглаживать циклические колебания и повышать устойчивость всей экономики к глобальным шокам. Если предприятия сохраняют стабильность производства и занятости, то снижается вероятность резкого спада потребления и замедления рынка. Особенно важно это в регионах, где промышленность служит основным источником налоговых поступлений и занятости населения. За счет цифровой трансформации, сопровождаемой адаптивным управлением, появляется возможность быстрого переключения на новые направления деятельности в случае существенных изменений рыночной конъюнктуры [Смородин, Прохоренко, 2023]. Таким образом, повышается общая диверсификация экономики, что является одним из ключевых факторов снижения рисков в период турбулентности.

При этом нельзя забывать о необходимости соответствия правовой базе, которая во многих странах пока не успевает за стремительными темпами цифровых инноваций. Очевиден более активный запрос на законодательное регулирование вопросов «умных контрактов», электронного документооборота, и подтверждения аутентичности данных. Отсутствие четких норм может тормозить внедрение адаптивных алгоритмов, поскольку компании опасаются правовых противоречий или недостаточного уровня защиты своих активов [Белов, Гаврюшин, Маркова, Занкин, 2022]. Поэтому государственные ведомства и профильные организации должны не только способствовать развитию цифровой инфраструктуры, но и формировать гибкие механизмы регулирования, которые бы не мешали инновациям и одновременно защищали общественные интересы. В этом смысле законодательство становится неотъемлемой частью условий для успешной цифровизации и адаптивного управления.

Возрастающая роль сетевых взаимодействий внутри самих промышленных холдингов дает новый импульс подходам к проектированию организационных структур. Более плоская система управления, где основные решения распределяются по нескольким узлам, способна быстрее реагировать на локальные сигналы и обеспечивать устойчивость. Например, в холдинге, состоящем из множества заводов и лабораторий, каждый узел может обладать собственной

системой адаптивного управления, но действовать по общим корпоративным стандартам. Такая распределенная модель снижает бюрократическую нагрузку и повышает скорость информационных потоков, что крайне важно для промышленного комплекса [Чупров, 2023]. Вместе с тем возрастает сложность согласования интересов, поэтому необходимо поддерживать единые цифровые платформы, на которых ведется обмен данными и отслеживаются глобальные KPI.

Новые вызовы современной экономики, будь то технологические прорывы или геополитическая нестабильность, требуют от предприятий умения оперативно менять приоритеты и перенастраивать производственные мощности. Адаптивные алгоритмы становятся тем инструментом, который позволяет формализовать эти изменения, встроить их в модель принятия решений и контролировать качество исполнения [Баранов., Феофанов, 2022]. Однако даже самые совершенные алгоритмы не смогут заменить ключевых компетенций руководителей по стратегическому видению и управлению человеческим капиталом. Оптимальное сочетание автоматизации процессов и человеческого фактора рождает синергию, создающую прочный фундамент для развития. Иными словами, цифровизация дает технологию, но люди, принимая ответственные решения, придают ей истинную ценность.

Особое внимание при проектировании адаптивных систем следует уделять вопросам масштабируемости. Экспериментальные пилотные проекты нередко показывают впечатляющие результаты, но при расширении охвата могут проявляться различные ограничения: технические, финансовые или кадровые. Важно заранее разрабатывать архитектуру решений с учетом будущих нагрузок, обеспечивая возможность гибко добавлять новые модули и функции. Кроме того, нельзя недооценивать риски, связанные с переизбытком данных: если система сталкивается с гораздо большими объемами, чем было предусмотрено изначально, может произойти потеря производительности или появиться системные задержки [Сатановский, Элент, 2023]. Продуманная стратегия масштабирования обеспечивает шаг за шагом плавное встраивание новых элементов цифровой экосистемы, сохраняя целостность и эффективность адаптивного управления.

Для развития адаптивных алгоритмов управления нужна не только качественная дата, но и соответствующая методологическая база для ее анализа. Не все промышленные предприятия располагают специализированными отделами анализа данных или командами data scientist, способными создавать и совершенствовать сложные математические модели. Отдельные компании принимают решение о привлечении аутсорсинговых ресурсов или коллаборируются с технологическими стартапами, чтобы сократить разрыв в навыках [Снегирев, 2022]. Параллельно расширяются возможности для обучения и переподготовки собственных специалистов, что в долгосрочную перспективу укрепляет внутренние компетенции организации. Важно понимать, что внедрение адаптивных алгоритмов – это непрерывный процесс, требующий постоянного развития знаний и умений (табл. 4).

Механизмы искусственного интеллекта, лежащие в основе адаптивного управления, существенно видоизменяют традиционные подходы к диагностике и прогнозированию производственно-экономических параметров. Если раньше контрольные показатели формировались на базе ретроспективного анализа и экспертной оценки, то теперь внедряется практика автоматизированного предсказания тенденций с высокой степенью точности. Адаптивные алгоритмы могут учитывать факторы, недоступные человеческому восприятию: сложные нелинейные взаимосвязи, временные ряды и паттерны, формируемые за доли секунды [Жаров, 2023]. Результат – более уверенное и точное управление, позволяющее избежать

«эффекта запаздывания», когда коррективы в экономические процессы вносятся с опозданием, что приводит к убыткам и дестабилизации. В то же время важно обеспечивать надлежащий контроль и верификацию результатов, поскольку любая ошибка в алгоритме может иметь серьезные последствия.

На макроуровне государственные институты стремятся сформировать цифровую инфраструктуру, которая бы облегчала промышленным предприятиям доступ к современным технологиям и поддерживала внедрение адаптивного управления [Зеленцова, Матвеев, 2022]. Особое внимание уделяется созданию центров компетенций, акселераторов инновационных проектов, субсидированию научно-исследовательских работ в сфере искусственного интеллекта. Кроме того, правительство нередко разрабатывает стратегии «цифровой экономики», где закрепляются ключевые направления развития, в том числе и для промышленности. Эти инициативы создают благоприятные условия для взаимосвязи науки, бизнеса и государства, способствуя росту конкурентоспособности национальной экономики. Сложенная реализация подобных программ усиливает процесс цифровой трансформации, а следовательно, и распространение адаптивных алгоритмов как одного из ее фундаментальных элементов.

Успешное внедрение адаптивных алгоритмов управления во многом определяется способностью предприятий непрерывно совершенствовать модели и проверять их на реальных бизнес-кейсах. Постоянная обратная связь от производственных цехов, логистических подразделений и финансовых служб позволяет оперативно выявлять недостатки и вносить коррективы. Так достигается цикл непрерывного улучшения, при котором каждая итерация повышает точность прогнозов и усиливает устойчивость экономической системы [Шориков, 2022]. Данный процесс можно сравнить с циклом непрерывного инновационного развития, где каждая новая версия алгоритма опирается на уроки, извлеченные из опыта эксплуатации предыдущей версии. В результате создается платформа для постоянного обновления знаний и глубокой интеграции инновационных методов в повседневную деятельность.

С точки зрения долгосрочных перспектив, адаптивные алгоритмы открывают двери к формированию по-настоящему интеллектуальных предприятий, где оперативные и стратегические решения принимаются при активном участии систем искусственного интеллекта. Для экономических процессов это означает переход к новому уровню прозрачности, эффективности и гибкости, что в современных динамичных условиях является решающим преимуществом [Баранов, 2023]. Однако стоит учитывать, что чем выше уровень автоматизации и алгоритмизации, тем более критичным становится вопрос этичности и прозрачности принятия решений. Доверие со стороны сотрудников и внешних партнеров формируется лишь при четком понимании принципов, на которых базируются алгоритмы, и гарантиях того, что их действия соответствуют нормам права и моральным стандартам. Таким образом, развитие адаптивных систем подразумевает комплексный взгляд на технологические, экономические и социальные аспекты.

Новые достижения в сфере интернета вещей (IoT) также дают дополнительный импульс развитию адаптивного управления. Компании устанавливают датчики и трекеры на производственных линиях, в системах транспортировки и даже на конечных изделиях. Благодаря этому в режиме реального времени можно получать информацию о состоянии оборудования, качестве продуктов, геолокации отгрузок и множестве других параметров [Халиулин, Кудрявцева, 2022]. Адаптивные алгоритмы, работающие с такой детальной базой, могут прогнозировать поломки оборудования, заблаговременно избегать простаиваний и

останавливать производственные линии на обслуживание, когда это действительно нужно. В итоге сокращаются затраты на внеплановые ремонты, улучшается качество продукции, повышается клиентская удовлетворенность. Расширение возможностей IoT делает адаптивное управление еще более действенным, формируя истинно цифровую среду, способную реагировать на малейшие изменения без существенных задержек.

Важным открытым вопросом остается определение оптимального уровня централизации принятия решений. С одной стороны, единая централизованная система может обеспечивать согласованность действий и эффективное распределение ресурсов по всему промышленному комплексу. С другой стороны, децентрализованные модели позволяют локальным узлам быстрее адаптироваться к местным условиям, автономно внося изменения и совершенствуя процессы [Ротанов, Шаховской, 2024]. Вероятно, наиболее результативным становится гибридный подход, сочетающий преимущества обоих методов: стратегическое планирование и определение глобальных целей остаются под центральным контролем, а оперативные решения, требующие быстрого реагирования, передаются на уровень локальных подразделений. В таком случае адаптивные алгоритмы разных уровней взаимодействуют между собой, обмениваясь данными и координируя действия.

Рассматривая роль человеческого фактора в системах адаптивного управления, следует отметить, что повышение уровня автоматизации сопровождается сдвигом в компетенциях персонала. Руководители все чаще должны владеть основами анализа данных, понимать логику работы алгоритмов и уметь интерпретировать выводы, полученные от системы. Сотрудники цехов переходят от выполнения рутинных задач к выполнению операций, требующих большей ответственности и навыков работы с цифровыми панелями управления [Прохоренко, 2023]. Таким образом, меняется вся структура квалификационных требований. Образовательные учреждения и корпоративные университеты начинают предлагать курсы, ориентированные на цифровые навыки, машинное обучение, основы математического моделирования. Это расширяет горизонты профессионального роста и поднимает общий уровень технологичности рабочих процессов.

В контексте глобальной конкуренции промышленные предприятия стремятся обеспечить себе уникальные конкурентные преимущества, и адаптивные алгоритмы могут стать одним из столпов таких преимуществ. Переход к цифровому формату управления позволяет накапливать и капитализировать знания, формируя базу данных, отражающую специфику отрасли и особенности конкретной компании [Волков, Пономарев, Хайдаров, 2022]. Постепенно возникает «неявное знание», встроенное в алгоритмы и процедуры, которое дает возможность быстро отвечать на изменения внешней среды и адаптироваться даже при возникновении новых вызовов. Подобная информационная асимметрия между предприятием, обладающим развитой цифровой культурой, и тем, кто все еще полагается на бумажные методы и устаревшие ИТ-системы, усиливает преимущества лидеров и обуславливает дальнейшую сегментацию рынка.

В то же время важно помнить, что рынок адаптивных решений весьма динамичен и насыщен конкурентными продуктами от различных поставщиков: от глобальных ИТ-корпораций до локальных инновационных фирм. При выборе партнеров по внедрению алгоритмов и цифровых платформ предприятия должны учитывать совместимость систем, масштабируемость решений и наличие экспертизы в конкретной отрасли. Порой более узкоспециализированные провайдеры приносят большую пользу, чем универсальные предложения, поскольку они специфически нацелены на определенные производственные процессы [Чупров, 2023]. Такой подход комплексно влияет на экономическую стабилизацию, так как снижается время окупаемости

инвестиций, усиливается взаимосвязь между бизнес-целями и используемым технологическим решением.

Перспектива развития адаптивного управления в условиях цифровой трансформации тесно связана с процессом непрерывной интеграции (continuous integration) и непрерывного развертывания (continuous deployment), заимствованным из практики разработки программного обеспечения. Аналогия заключается в том, что управленческие решения разрабатываются, тестируются и внедряются в коротких итерациях, что позволяет быстро проверять их работоспособность в реальной среде. При этом каждая итерация обогащает систему новыми данными и обратной связью, способствуя дальнейшей оптимизации. Компании, освоившие такой подход, приобретают способность оперативно реагировать на меняющиеся условия рынка и повышать устойчивость экономических показателей. Они создают команды, ответственные за еженедельный или даже ежедневный анализ корректности работы алгоритмов, включая проверку прогнозируемых показателей [Пермовский, Кузнецов, 2022]. Взаимодействие таких команд со всеми подразделениями организации дает мощный синергетический эффект.

Нельзя обойти вниманием человеческий аспект мотивации, когда речь идет о глубокой трансформации рабочих процессов. Для сотрудников зачастую бывают непривычны методики управления, в которых все большую часть принятия решений передают интеллектуальным алгоритмам. Некоторые могут воспринимать это как подрыв личного профессионального авторитета. Поэтому управление организационными изменениями должно строиться на прозрачности и вовлечении персонала в процесс: объяснять, как работают цифровые инструменты, какие выгоды они приносят, и какие новые возможности открывают [Зеленцова, Матвеев, 2022]. Такое партнерство между человеком и алгоритмом формирует доверие и повышает коэффициент эффективности всей системы.

Многие современные исследования указывают на то, что адаптивные алгоритмы способны не только реагировать на уже наступившие признаки кризиса, но и предугадывать его возможное наступление, опираясь на анализ сложных пульсаций рынка. Чем мощнее вычислительные ресурсы и совершеннее математические модели, тем более ранние сигналы нестабильности можно отследить. Это дает компаниям критическое преимущество во времени, позволяя вовремя перевести активы в более надежные инструменты, диверсифицировать производство или срочно привлечь дополнительные ресурсы [Шориков, 2022]. В итоге гибкая система управления может предупредить и смягчить потенциальные экономические потрясения, сохраняя тем самым рабочие места и общую деловую активность в регионе.

Интеграция с внешними сервисами, в том числе облачными аналитическими платформами, открывает еще больший простор для развития адаптивных алгоритмов. В то время как крупные предприятия могут позволить себе собственные дата-центры и команды разработчиков, средние и мелкие компании часто полагаются на услуги поставщиков облачных решений. Эта модель «по потреблению» снижает барьеры входа и дает доступ к передовым технологиям и вычислительным мощностям, которые иначе были бы недоступны из-за высоких капитальных затрат [Сатановский, Элект, 2023]. В рамках такого подхода новая версия алгоритма может быть развернута практически мгновенно, а обновления поступают непрерывно, что поддерживает актуальность и конкурентоспособность предприятия. В результате рыночная конкуренция становится еще более острой, поскольку даже небольшие игроки, обладающие ограниченными ресурсами, способны быстро внедрять инновации и успешно завоевывать свою нишу.

Для обеспечения высокой надежности работы адаптивных алгоритмов необходим комплекс мер по тестированию и отладке, включающий практики A/B-тестирования, моделирования

«что, если» (what-if analysis) и многоступенчатую валидацию результатов. Внедрение нового модуля алгоритма без предварительной апробации может вызвать дестабилизацию экономического процесса, если, к примеру, он будет неверно оценивать факторы спроса или ресурсные ограничения. Поэтому компании разрабатывают стандарты качества, которые регламентируют проведение экспериментов на малых «песочницах» с ограниченным риском. Среда тестирования должна по возможности максимально точно имитировать реальные условия, чтобы снизить вероятность ошибок при развертывании на боевой системе [Баранов, 2023]. Этот многоуровневый подход к проверке повышает степень уверенности руководства в корректности работы алгоритмов и создает доверие среди сотрудников.

Важность адаптации не ограничивается внутренними процессами. Внешние факторы, такие как изменения в законодательстве, перемены в политической ситуации или стихийные бедствия, могут оказывать существенное влияние на экономику предприятия. Система управления, настроенная на проведение оперативного мониторинга внешней среды, способна заранее предложить корректирующие меры и смягчить удар. Адаптивные алгоритмы, анализирующие не только внутреннюю производственно-экономическую информацию, но и широкие потоки новостей, биржевые индексы и социальные сигналы, могут более точно оценивать вероятность наступления рисков или возможностей [Зеленцова, Матвеев, 2022]. На основе этих данных формируется комплекс ответных мер, предусматривающий, например, альтернативные каналы сбыта, временные контракты с новыми поставщиками или изменение инвестиционных планов. Таким образом, гибкая модель управления дает весомое конкурентное преимущество, поскольку позволяет не только выживать, но и извлекать выгоду из внешних изменений.

Заключение

Анализируя совокупность преимуществ, связанных с внедрением адаптивных алгоритмов, можно заключить, что промышленным комплексам все сложнее оставаться эффективными без активного использования цифровых технологий. Переход к адаптивным методам гарантирует более точный контроль над ресурсами, уменьшение потерь и более глубокое понимание динамики спроса и предложений [Ротанов, Шаховской, 2024]. Однако это не разовое усилие, а непрерывное развитие, подразумевающее постоянное обучение и корректировку систем. Каждое предприятие выбирает оптимальную траекторию в зависимости от своего масштаба, отраслевой специфики и уровня цифровой инфраструктуры. В результате формируется новая модель промышленной экономики, где стабильность и гибкость становятся двумя сторонами одного и того же процесса, а адаптивные алгоритмы служат надежной основой для принятия управленческих решений на всех этапах производственного цикла.

Библиография

1. Баранов Н.Е. Построение системы усовершенствованного управления технологическими процессами с использованием адаптивной прогнозирующей модели // *Технология машиностроения*. 2023. № 8. С. 38-42.
2. Баранов Н.Е., Феофанов А.Н. Построение автоматизированных систем управления производством с использованием методов адаптивного управления // *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2022. № 3 (62). С. 22–25.
3. Белов В.Ф., Гаврюшин С.С., Маркова Ю.Н., Занкин А.И. Моделирование среды предприятия с использованием дискретных вычислительных алгоритмов // *Математическое моделирование и численные методы*. 2022. № 1 (33). С. 109-128.
4. Волков В.Ф., Пономарев А.С., Хайдаров Р.Р. Методологический подход к оптимизации управления процессом развертывания автоматизированных систем в условиях целенаправленных воздействий внешней среды // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2022. № 6. С. 37-44.

5. Жаров В.С. Формирование алгоритма управления инновационно-технологическим развитием промышленности // Друkerовский вестник. 2023. № 1 (51). С. 36-45.
6. Зеленцова Л.С., Матвеев Г.С. Организационно-экономический механизм управления адаптацией промышленной организации // Динамика сложных систем – XXI век. 2022. Т. 16. № 2. С. 59-67.
7. Пермовский А.А., Кузнецов В.П. Агрессивная внешняя среда как триггер к созданию новых механизмов управления промышленными предприятиями // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Социальные науки. 2022. № 4 (68). С. 42-47.
8. Прохоренко В.А. Система адаптивного управления технологическим циклом автоматизированного производства // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2023. № 3 (138). С. 69-73.
9. Ротанов Е.Г., Шаховской А.В. Применение интеллектуальных методов обработки данных для адаптивного управления технологическими процессами в реальном времени // Экономика строительства. 2024. № 6. С. 369-372. 4 с.
10. Сатановский Р.Л., Элект Д. Трансформация ключевого показателя управления эффективной организацией серийного производства // Организатор производства. 2023. Т. 31. № 1. С. 34-47.
11. Смородин В.С., Прохоренко В.А. Стабилизация параметров технологического цикла при построении обратных связей по управлению // Проблемы физики, математики и техники. 2023. № 2 (55). С. 83-88.
12. Снегирев О.Ю. Разработка адаптивных виртуальных анализаторов для систем усовершенствованного управления ректификационными колоннами // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 7. С. 80-84.
13. Халиулин Р.А., Кудрявцева С.С. Управление трансформационными программами для обеспечения устойчивости производственно-хозяйственных систем // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2022. № 1. С. 718-720.
14. Чупров С.В. Аналитическое конструирование регулятора обеспечения оптимальности и устойчивости резерва инновационной промышленной продукции // System Analysis and Mathematical Modeling. 2023. Т. 5. № 1. С. 45-56.
15. Шориков А.Ф. Методика оптимизации адаптивного управления выпуском продукции предприятия на основе динамической экономико-математической модели // Экономика и математические методы. 2022. Т. 58. № 4. С. 102-112.

Development of adaptive control algorithms for stabilization of economic processes in the conditions of digital transformation of industrial complexes

Aleksandr T. Karyakin

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov,
360004, 173 Chernyshevskogo str., Nal'chik, Russian Federation;
e-mail: karyakin2279@mail.ru

Abstract

This article presents research on the development of adaptive control algorithms aimed at stabilizing economic processes under the conditions of digital transformation of industrial complexes. The relevance of the topic is caused by the dramatic changes in the global economy and the need to quickly respond to the instability of both internal and external factors, making the use of modern digital management methods critically important for industrial enterprises. The objective of the study is to develop an algorithmic foundation capable of adapting to dynamic market conditions and ensuring the stability of economic processes. The research methodology is based on the integration of methods of mathematical modeling, big data analysis, and machine learning algorithms. In the empirical part of the work, a comparative analysis of existing adaptive control systems was conducted, and a new algorithm was developed that takes into account the specifics of

the digitalization of production processes. Experimental verification was carried out on models simulating the real operating conditions of industrial complexes, which made it possible to identify patterns in the impact of digital technologies on economic indicators. The results obtained showed that the proposed algorithm effectively stabilizes economic processes by rapidly adapting to changes in the external and internal environment. A dependency was found between the degree of digitalization and management efficiency, and the possibility of improving an enterprise's economic stability by implementing adaptive methods was demonstrated. Experimental results and statistical data analysis confirm that the use of the developed algorithms reduces the impact of extreme fluctuations in supply and demand, increases the promptness of management decision-making, and reduces the level of operational risks. The discussion of the results points to the prospects for further research in the area of expanding the functionality of algorithms by integrating new tools of artificial intelligence and the Internet of Things. Thus, the article makes a significant contribution to the theory and practice of digitalization in industrial production, emphasizing the importance of adaptive control methods for achieving stability in economic processes in the context of modern technological development.

For citation

Karyakin A.T. (2025) Razrabotka adaptivnykh algoritmov upravleniya dlya stabilizatsii ekonomicheskikh protsessov v usloviyakh tsifrovoi transformatsii promyshlennykh kompleksov [Development of adaptive control algorithms for stabilization of economic processes in the conditions of digital transformation of industrial complexes]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 15 (2A), pp. 130-144.

Keywords

Adaptive algorithms, control, economic processes, digital transformation, industrial complexes.

References

1. Baranov N.E. (2023) Construction of an advanced process control system using an adaptive predictive model. *Technology of mechanical engineering*, 8, pp. 38-42.
2. Baranov N.E., Feofanov A.N. (2022) Construction of automated production control systems using adaptive control methods. *Bulletin of MSTU "Stankin"*, (62), pp. 22-25.
3. Belov V.F., Gavryushin S.S., Markova Yu.N., Zankin A.I. (2022) Modeling of the enterprise environment using discrete computational algorithms. *Mathematical modeling and numerical methods*, 1 (33), pp. 109-128.
4. Chuprov S.V. (2023) Analytical design of a regulator for ensuring the optimality and stability of the reserve of innovative industrial products. *System Analysis and Mathematical Modeling*, 5 (1), pp. 45-56.
5. Khaliulin R.A., Kudryavtseva S.S. (2022) Management of transformation programs to ensure the sustainability of production and business systems. *Young scientists – the development of the National Technological Initiative (POISK)*, 1, pp. 718-720.
6. Permovsky A.A., Kuznetsov V.P. (2022) Aggressive external environment as a trigger for the creation of new mechanisms for managing industrial enterprises. *Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky. Series: Social Sciences*, 4 (68), pp. 42-47.
7. Prokhorenko V.A. (2023) Adaptive control system for the technological cycle of automated production. *Bulletin of the Gomel State University named after F. Skorina*, 3 (138), pp. 69-73.
8. Rotanov E.G., Shakhovskoy A.V. (2024) Application of intelligent data processing methods for adaptive control of technological processes in real time. *Construction Economics*, 6, pp. 369-372.
9. Satanovskiy R.L., Elent D. (2023) Transformation of the key indicator of managing the effective organization of serial production. *Production Organizer*, 31 (1), pp. 34-47.
10. Shorikov A.F. (2022) Methodology for optimizing adaptive management of enterprise output based on a dynamic economic and mathematical model. *Economics and Mathematical Methods*, 58 (4), pp. 102-112.
11. Smorodin V.S., Prokhorenko V.A. (2023) Stabilization of technological cycle parameters when constructing control

- feedbacks. *Problems of Physics, Mathematics and Technology*, 2 (55), pp. 83-88.
12. Snegirev O.Yu. (2022) Development of adaptive virtual analyzers for advanced control systems of distillation columns. *Mathematical methods in technology and engineering*, 7, pp. 80-84.
13. Volkov V.F., Ponomarev A.S., Khaidarov R.R. (2022) Methodological approach to optimization of management of the process of deployment of automated systems in the context of targeted impacts of the external environment. *Bulletin of Tula State University. Technical sciences*, 6, pp. 37-44.
14. Zelentsova L.S., Matveev G.S. (2022) Organizational and economic mechanism for managing the adaptation of an industrial organization. *Dynamics of complex systems - 21st century*, 16 (2), pp. 59-67.
15. Zharov V.S. (2023) Formation of an algorithm for managing innovative and technological development of industry. *Drucker Bulletin*, 1 (51), pp. 36-45.