Научная статья / Original article

УДК 338.436.3(98):339.13 ВАК 5.2.2.

JEL C65 M31 Q18 EDN KIKECM

Еремина И. А., Зайцев А. А.

КВАНТОВО-АГЕНТНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ МАРКЕТИНГОВЫХ СИСТЕМ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ ГЕОПОЛИТИЧЕСКОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ

Еремина Ирина Александровна
доктор экономических наук, доцент
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (г. Санкт-Петербург, Россия), профессор Высшей инженерно-экономической школы ИПМЭиТ
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Среднерусский институт управления (г. Орел, Россия), профессор кафедры «Менеджмент и управление персоналом»
eremina-ia@ranepa.ru
https://orcid.org/0000-0001-9065-6019
SPIN 7094-5920

Irina A. Eremina
Doctor of Economic Sciences, Associated Professor
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, Russia), Professor of the Higher School of Engineering and Economics at the Institute of Mechanics and Technology of Economics and Management
Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Central Russian Institute of Management (Orel, Russia), Professor of Management and Personnel Management Department
eremina-ia@ranepa.ru
https://orcid.org/0000-0001-9065-6019
SPIN 7094-5920

Зайцев Андрей Александрович
доктор экономических наук, профессор
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (г. Санкт-Петербург, Россия), профессор Высшей инженерно-экономической школы ИПМЭиТ
andrey_z7@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4372-4207
SPIN: 6011-8893

Andrey A. Zaitsev
Doctor of Economic Sciences, Professor
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (St. Petersburg, Russia), Professor of the Higher School of Engineering and Economics at the Institute of Mechanics and Technology of Economics and Management
andrey_z7@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-4372-4207
SPIN: 6011-8893

Аннотация. *Статья посвящена разработке и апробации квантово-агентного гибридного метода оценки устойчивости маркетинговых систем агропромышленного комплекса Арктики в условиях нарастающей геополитической фрагментации. Актуальность исследования обусловлена тем, что классические вероятностные подходы, базирующиеся на линейных регрессиях и марковских процессах, не способны адекватно отразить когнитивную и институциональную неопределённость, вызванную санкционными режимами, разрывом логистических цепей и изменением статуса арктических территорий, где факторы риска действуют не изолированно, а как взаимно влияющие «запутанные» переменные. Предложенный метод объединяет аппарат квантовых вероятностей (суперпозиция управленческих состояний, квантовое запутывание, интерференция амплитуд) и агент-ориентированное моделирование, что позволяет формализовать состояния каждого агента маркетинговой системы (производитель, переработчик, логистический оператор, розничная сеть) в виде суперпозиции трёх базисных состояний – адаптации, коллапса, трансформации. Вычислительный эксперимент проведён на реальных данных по трём арктическим зонам: Мурманская область (прибрежные рыбоперерабатывающие*

Abstract. *The article is devoted to the development and testing of quantum-agent hybrid assessment method of marketing systems sustainability in agro-industrial complex of Arctic under conditions of increasing geopolitical fragmentation. The relevance of the study is due to the fact that classical probabilistic approaches based on linear regressions and Markov processes are not able to adequately reflect cognitive and institutional uncertainty caused by sanctions, disruption of logistics chains and changes in the status of Arctic territories, where risk factors do not act in isolation, but as mutually influencing confusing variables. The proposed method combines the apparatus of quantum probabilities (superposition of managerial states, quantum entanglement, amplitudes interference) and agent-oriented modeling, which makes it possible to formalize the states of each agent of marketing system (manufacturer, processor, logistics operator, retail network) in the form of superposition of three basic states – adaptation, collapse, and transformation. The computational experiment was conducted on real data for three Arctic zones: Murmansk Region (coastal fish processing clusters), Yamalo-Nenets Autonomous Okrug (continental reindeer husbandry systems and greenhouses) and Arctic territories of Norway as a reference*

© Еремина И. А., Зайцев А. А., 2026

кластеры), Ямало-Ненецкий автономный округ (континентальные системы оленеводства и тепличные хозяйства) и арктические территории Норвегии как референсная зона. Временной горизонт моделирования составил 36 месяцев с дискретностью одна неделя, смоделировано 500 сценариев с различной степенью начальной запутанности агентов и скоростью нарастания геополитической фрагментации. Установлено, что маркетинговые системы с высокой связанностью агентов (степень запутанности более 0,7) при резком росте фрагментации теряют устойчивость на 30–40 процентов быстрее по сравнению с системами с умеренной запутанностью, тогда как децентрализованные структуры с интерференцией локальных стратегий сохраняют функциональность за счёт квантово-подобного туннелирования ресурсов между кластерами. Количественно охарактеризован порог устойчивости – индекс геополитической фрагментации, равный 0,62, ниже которого система находится в состоянии когерентного поиска решений, а выше – переходит в режим стохастической диссипации. Разработан и верифицирован алгоритм превентивной реконфигурации на основе мониторинга «квантового запаса устойчивости» (Q-margin), позволяющий осуществлять упреждающие управленческие воздействия при значениях Q-margin в интервале 0,15–0,25. Доказано, что превентивное вмешательство требует на 40–55 процентов меньших операционных затрат по сравнению с экстренной реконфигурацией после перехода порога фрагментации, а также снижает потери устойчивости на 9–12 процентных пунктов. Практическая значимость работы заключается в создании инструментальной базы для цифровых двойников арктических агромаркетинговых систем с функцией раннего обнаружения предколлапсных состояний и поддержки принятия решений в режиме реального времени. Полученные результаты могут быть использованы региональными органами управления агропромышленным комплексом, логистическими операторами и отраслевыми союзами, функционирующими в арктической зоне.

***Ключевые слова**: квантово-агентное моделирование, маркетинговые системы, агропромышленный комплекс Арктики, геополитическая фрагментация, устойчивость, квантовое запутывание, превентивная реконфигурация, Q-margin, агент-ориентированное моделирование, арктические территории, санкционные риски, логистические цепи*

***Благодарности**: Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-28-03053, https://rscf.ru/project/25-28-03053.*

***Вклад авторов**: все авторы внесли равный вклад в проведение исследования и написание статьи; выразили согласие нести публичную ответственность за все аспекты работы, связанные с точностью или достоверностью любой части рукописи; одобрили финальную версию статьи перед публикацией.*

Для цитирования: Еремина И. А., Зайцев А. А. Квантово-агентные методы оценки устойчивости маркетинговых систем агропромышленного комплекса Арктики в условиях геополитической фрагментации // Экономическая среда. – 2026. – Т. 15, № 2. – С. 40-57. – EDN KIKECM.

zone. The time horizon of simulation was 36 months with one week discreteness, 500 scenarios were modeled with different degrees of initial agents entanglement and the rate of geopolitical fragmentation rise. It was determined that at sharp fragmentation rise marketing systems with high agent connectedness (entanglement degree is greater than 0.7) lose stability by 30 to 40 percent faster compared to the systems with moderate entanglement, while decentralized structures with interference of local strategies retain functionality due to quantum-like tunneling of resources between clusters. The stability threshold is quantified – geopolitical fragmentation index equal to 0.62, below which the system is in the state of coherent search for solutions, and above this index it goes into stochastic dissipation mode. Algorithm of preventive reconfiguration on the basis of quantum margin of stability monitoring (Q-margin) was developed and verified, which allows for proactive management actions at Q-margin values in the range of 0.15-0.25. It has been proven that preventive intervention requires 40-55 percent lower operating costs compared to emergency reconfiguration after crossing the fragmentation threshold, and reduces stability losses by 9-12 percentage points. The practical significance of the work is in creation of a tool base for digital twins of Arctic agro-marketing systems with the function of early detection of pre-collapse states and real-time decision support. The results obtained can be used by regional authorities of agro-industrial complex, logistics operators and industry unions operating in Arctic zone.

***Keywords**: quantum-agent modeling, marketing systems, agro-industrial complex of the Arctic, geopolitical fragmentation, stability, quantum entanglement, preventive reconfiguration, Q-margin, agent-based modeling, Arctic territories, sanctions risks, logistics chains*

***Acknowledgments**: The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 25-28-03053, https://rscf.ru/project/25-28-03053.*

***Authors' contribution**: All authors contributed equally to the research and writing; agreed to be publicly responsible for all aspects of the work related to the accuracy or integrity of any part of the manuscript; approved the final version of the article before publication.*

For citation: Eremina I.A., Zaitsev A.A. Quantum-Agent Methods of Assessing Marketing Systems Sustainability of Arctic Agro-Industrial Complex in the Context of Geopolitical Fragmentation. *Economic Environment*, 2026, vol. 15, no. 2, pp. 40-57. (In Russ.). Available from: https://elibrary.ru/KIKECM.

Введение

Арктический регион в последние десятилетия выступает не только как зона стратегических экономических интересов, но и как пространство нарастающей геопо-

литической фрагментации, что оказывает прямое воздействие на устойчивость маркетинговых систем агропромышленного комплекса. Санкционные режимы, разрыв традиционных логистических цепей, изменение статуса арктических территорий и волатильность внешнеторговых отношений создают беспрецедентный уровень когнитивной и институциональной неопределённости для агентов рынка – от локальных производителей до интегрированных перерабатывающих кластеров. В этих условиях классические методы оценки устойчивости, базирующиеся на линейных регрессионных моделях, марковских процессах и теории вероятностей, демонстрируют недостаточную предсказательную силу. Основной их недостаток заключается в неспособности адекватно отразить взаимовлияние рисков, которые в арктической маркетинговой системе действуют не изолированно, а как «запутанные» факторы, где изменение одного параметра (например, закрытие порта) немедленно резонирует на всей системе, вызывая синхронизированные коллапсы у многих агентов. Требуется принципиально иной методологический аппарат, способный формализовать суперпозицию управленческих состояний, интерференционные эффекты и квантово-подобное перераспределение ресурсов между кластерами.

Проблема оценки устойчивости маркетинговых систем агропромышленного комплекса находится в центре внимания отечественных и зарубежных исследователей, однако большинство существующих работ базируется на классических вероятностных и экономико-математических подходах. С. А. Авакян [1] выделяет основные элементы формирования системы управления маркетинговой устойчивостью аграрного бизнес-проекта, акцентируя внимание на внутренних факторах предприятия. Н. К. Васильева, Е. В. Сидорчукова, С. С. Колотий и Н. К. Пан [2] предлагают методику оценки рыночной устойчивости организаций аграрного сектора, основанную на анализе финансовых показателей. И. П. Геращенко и А. А. Василенко [3] строят модель оценки маркетинговой устойчивости компаний, используя дискретные состояния. Р. К. Курбанов и Е. С. Никифорова [4] рассматривают вопросы построения автоматизируемой системы оценки продовольственных рынков. К. С. Малюта [5] формирует концептуальную модель маркетингового управления для обеспечения устойчивой конкурентоспособности аграрных предприятий региона. Н. В. Медяник, О. А. Чередниченко и Н. А. Довготько [6] разрабатывают сбалансированную систему индикаторов для оценки степени достижения целей устойчивого развития в национальной агропродовольственной системе. Е. А. Плешакова [7] анализирует методы оценки финансовой устойчивости агропромышленных предприятий, традиционно опирающиеся на ретроспективные данные. Т. В. Полушкина, Е. Е. Горбунова и А. А. Бутюгина [8] исследуют применение экономико-математических моделей в агропромышленном комплексе, включая регрессионные и марковские модели. И. А. Романенко и Н. Е. Евдокимова [9] обобщают зарубежный опыт методов экономической оценки стратегий устойчивого развития агропродовольственных систем. Е. В. Самаева, Э. В. Эрдниева, Б. Э. Эвиева и другие [10] рассматривают теоретические и практические аспекты агромаркетинга. С. Н. Скороходов [11] анализирует инструменты модернизации стратегий цифрового маркетинга в агропромышленном комплексе. М. М. Терютина [12] применяет системный подход к вопросам устойчивого развития в сельскохозяйственных и продовольственных системах. М. М. Шутов и И. А. Ладыш [13] исследуют возможность применения классической маркетинг-микс концепции 4P в агропромышленном комплексе. Зарубежные исследования [14; 15; 16] дополняют данную картину.

Несмотря на разнообразие представленных подходов, все они обладают общим ограничением – предположением о том, что риски и возмущения действуют изолированно или могут быть адекватно описаны корреляционными матрицами и вероятност-

ными распределениями. Классические методы не способны формализовать такие феномены, как суперпозиция управленческих состояний, когда лицо, принимающее решение, вынуждено одновременно прорабатывать несколько взаимоисключающих сценариев, а также эффекты интерференции и запутывания, при которых изменение одного параметра немедленно резонирует на всей системе. Кроме того, традиционные подходы не учитывают возможность квантово-подобного туннелирования ресурсов – перераспределения материальных и информационных потоков по путям, которые в классической сети являются запрещёнными или маловероятными. Зарубежные исследования [17; 18; 19] также остаются в рамках классической парадигмы, что особенно критично для арктических маркетинговых систем, где геополитическая фрагментация (санкционные режимы, разрыв логистических цепей, изменение статуса территорий) создаёт когнитивную и институциональную неопределённость, не поддающуюся адекватному описанию стохастическими моделями Таким образом, существующий литературный обзор выявляет явный методологический пробел: отсутствие инструментов, способных одновременно учитывать несепарабельность факторов риска, суперпозицию управленческих состояний, интерференционные эффекты и квантово-подобное перераспределение ресурсов при оценке устойчивости маркетинговых систем АПК, особенно в условиях высокой геополитической нестабильности Арктики.

Целью настоящего исследования является разработка, апробация и внедрение квантово-агентного гибридного метода оценки устойчивости маркетинговых систем АПК Арктики в условиях геополитической фрагментации. В отличие от существующих подходов, предложенный метод объединяет аппарат квантовых вероятностей (суперпозиция состояний, квантовое запутывание, интерференция амплитуд) и агент-ориентированное моделирование, что позволяет формализовать когнитивные и институциональные риски как несепарабельные переменные, а также моделировать феномен «туннелирования» ресурсов по путям, которые в классических сетях являются запрещёнными или маловероятными. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: формализация квантово-агентной модели с введением индекса геополитической фрагментации и коэффициента запутанности; проведение вычислительного эксперимента на базе реальных данных по трём арктическим зонам (Мурманская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, арктические территории Норвегии как референсная зона); выявление пороговых эффектов устойчивости; разработка алгоритма превентивной реконфигурации на основе мониторинга «квантового запаса устойчивости» (Q-margin); а также верификация метода и алгоритма с последующим сравнением с классическими вероятностными подходами.

Научная новизна исследования заключается в трёх основных результатах. Во-первых, разработан и апробирован квантово-агентный гибридный метод, позволяющий моделировать суперпозицию управленческих состояний (адаптация, коллапс, трансформация) и учитывать эффекты запутывания и интерференции при анализе устойчивости маркетинговых систем. Во-вторых, количественно охарактеризованы пороговые эффекты устойчивости арктических агромаркетинговых систем под влиянием геополитической фрагментации, установлен индекс фрагментации 0,62 как критический порог перехода от когерентного поиска решений к режиму стохастической диссипации. В-третьих, предложен и верифицирован на реальных данных алгоритм превентивной реконфигурации на основе динамического мониторинга Q-margin, который позволяет осуществлять упреждающие управленческие воздействия при значениях Q-margin в интервале 0,15–0,25 и даёт экономию операционных затрат в размере 40–55 % по сравнению с экстренной реконфигурацией. Практическая значимость работы состоит в создании инструментальной базы для цифровых двойников арктиче-

ских агромаркетинговых систем с функцией раннего обнаружения предколлапсных состояний и поддержки принятия решений. Полученные результаты могут быть использованы региональными органами управления АПК, логистическими операторами и отраслевыми союзами для повышения устойчивости маркетинговых систем в условиях высокой геополитической нестабильности. Дальнейшие исследования будут направлены на автоматизацию расчёта Q-margin и создание интерфейса «человек-машина» для лиц, принимающих решения в арктической зоне.

Материалы и методика исследования

Объектами исследования выступили маркетинговые системы агропромышленного комплекса трёх арктических зон: Мурманская область с прибрежными рыбоперерабатывающими кластерами, Ямало-Ненецкий автономный округ с континентальными системами оленеводства и тепличными хозяйствами, а также арктические территории Норвегии как референсная зона с высокотехнологичным лососеводством, не подверженная сопоставимому уровню геополитической фрагментации. Исходные данные формировались из трёх основных источников: оперативные данные региональных управлений АПК за период 2023–2025 годов с помесячной разбивкой (объёмы производства, отгрузки, товарные запасы, количество хозяйствующих субъектов, динамика цен), таможенная статистика Российской Федерации и Норвегии (объёмы экспортно-импортных операций по продукции АПК, логистические задержки, изменения маршрутов поставок), а также спутниковый мониторинг логистических потоков по Северному морскому пути и прилегающим транспортным коридорам. Дополнительно были проведены структурированные интервью с 15 отраслевыми экспертами в каждом регионе (руководители агропредприятий, логистических операторов, региональных органов управления АПК) для построения когнитивных карт устойчивости. Всего в исследовании использовано 78 временных рядов с длиной 24 месяца каждый, что составило 1 872 наблюдения для каждого из трёх регионов.

Квантово-агентный гибридный метод базируется на представлении каждого агента маркетинговой системы (производитель, переработчик, логистический оператор, розничная сеть) квантовой волновой функцией, которая описывает суперпозицию трёх возможных управленческих состояний: адаптация, коллапс или трансформация. В отличие от классических дискретных моделей, где агент находится строго в одном состоянии, предложенный метод допускает одновременное нахождение агента во всех трёх состояниях с различными весами, что соответствует реальной управленческой практике в Арктике, где решения часто принимаются в условиях неполной информации. Эволюция системы во времени описывается через унитарное преобразование, определяемое эффективным гамильтонианом, который включает три компоненты: собственные «энергии» управленческих состояний, операторы взаимодействия между агентами (кодирующие запутывание) и внешнее поле геополитической фрагментации. Взаимодействие между агентами вводится через оператор запутывания, действующий на пару агентов, что позволяет формализовать степень когнитивной и институциональной связанности: чем выше запутанность, тем сильнее влияние геополитического шока на всю сеть. Геополитическая фрагментация моделируется как внешнее поле с изменяющейся интенсивностью и когерентностью, а санкционные режимы – как операторы измерения, коллапсирующие суперпозицию состояний агентов в конкретные наблюдаемые стратегии (переориентация на внутренний рынок, консервация запасов, переключение на альтернативных контрагентов).

Вычислительный эксперимент проводился на специализированном программном комплексе, реализованном на языке Python с использованием библиотек для ли-

нейной алгебры, моделирования квантовых систем и агент-ориентированного моделирования. Для каждого из трёх регионов была построена агентная модель, включающая от 50 до 200 агентов в зависимости от масштаба маркетинговой системы (Мурманская область – 78 агентов, Ямало-Ненецкий автономный округ – 112 агентов, Норвегия – 94 агента). Временной горизонт моделирования составил 36 месяцев с дискретностью одна неделя, что позволило фиксировать как быстрые реакции на геополитические события, так и долгосрочные тренды устойчивости. Всего было смоделировано 500 сценариев, отличающихся степенью начальной запутанности агентов в диапазоне от 0,1 до 0,9 с шагом 0,1 и скоростью нарастания геополитической фрагментации (линейная модель от 0,01 до 0,05 в неделю и экспоненциальная модель с удвоением за 12 недель). Для каждого сценария проводилось 100 повторных запусков для обеспечения статистической устойчивости результатов, общее количество моделированных итераций составило 7,8 миллиона шагов. Основными выходными параметрами модели являлись: индекс когерентности системы, энтропия фон Неймана, коэффициент запутанности (средняя степень двухчастичного запутывания по всем парам агентов), а также «квантовый запас устойчивости» (Q-margin), вычисляемый как расстояние от текущего значения индекса фрагментации до эмпирически установленного порога 0,62.

Алгоритм превентивной реконфигурации включает пять последовательных этапов. На первом этапе осуществляется непрерывный сбор данных о состоянии каждого агента с дискретностью одна неделя, включая показатели товарных потоков, финансовых обязательств и логистических задержек. На втором шаге для каждого действующего субъекта (агента) выполняется восстановление его квантовой волновой функции, определённой в трёхмерном пространстве возможных состояний. При этом значения амплитуд вероятности назначаются с помощью экспертной калибровки: они вычисляются как частное от деления фактически достигнутых показателей агента на запланированные величины. Фазовые углы, в свою очередь, устанавливаются в зависимости от того, насколько принимаемые агентом решения согласуются с общей стратегией функционирования маркетинговой системы. Третий шаг связан с расчётом глобальной матрицы плотности для всей совокупности агентов, на основании чего определяется показатель квантового запаса устойчивости (Q-margin). Четвёртый шаг предполагает соотнесение полученной величины Q-margin с заданными пороговыми значениями, которые разграничивают три зоны превентивного управления. Первая из них, зелёная, наблюдается при Q-margin выше 0,25 и соответствует устойчивой когерентной работе системы, где достаточно лишь стандартного мониторинга без принятия дополнительных мер. Вторая – жёлтая зона (Q-margin в интервале 0,15–0,25) –трактуется как область когнитивной предколлапсной нестабильности: традиционные методы контроля ещё не способны зафиксировать значительные отклонения, тогда как квантово-агентный подход уже обнаруживает скрытую синхронизацию фазовых сдвигов между агентами. Третья, красная зона (Q-margin ниже 0,15), отражает состояние критической декогеренции, при котором система оказывается на грани перехода в режим стохастической диссипации. На пятом шаге в зависимости от идентифицированной зоны запускается соответствующий сценарий реконфигурации: для жёлтой зоны применяются меры превентивной реконфигурации, для красной – экстренные. Все вычисления выполнялись на вычислительном кластере, имеющем в своём составе 64 процессорных ядра и 512 гигабайт оперативной памяти; суммарное машинное время, затраченное на эксперимент, составило приблизительно 6 500 ядро-часов. С целью оценки результативности превентивной реконфигурации был проведён дополнительный сценарий, в котором реконфигурация запускалась не при снижении показателя Q-margin до порогового уровня 0,20, а постфактум – спустя четыре недели после того, как индекс геополитической фрагментации превысил критическое значение 0,62.

Результаты и обсуждение

В условиях нарастающей геополитической фрагментации Арктического региона традиционные методы оценки устойчивости маркетинговых систем агропромышленного комплекса (АПК) демонстрируют недостаточную предсказательную силу. Классические вероятностные подходы, базирующиеся на линейных регрессиях и марковских процессах, не способны адекватно отразить когнитивную неопределённость, вызванную санкционными режимами, разрывом логистических цепей и изменением статуса арктических территорий. Эти факторы действуют не изолированно, а как взаимно влияющие переменные, где изменение одного параметра немедленно резонирует на всей системе. В связи с этим был разработан и апробирован квантово-агентный гибридный метод оценки устойчивости, объединяющий аппарат квантовых вероятностей и агент-ориентированного моделирования. Сравнительная характеристика предлагаемого метода и классических подходов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Детальное сравнение классических и квантово-агентных методов оценки устойчивости маркетинговых систем

Характеристика	Классические вероятностные методы	Квантово-агентный гибридный метод
Тип неопределённости	Стохастическая (известные распределения)	Когнитивная и институциональная (несепарабельные факторы)
Представление состояний агентов	Дискретные или непрерывные, но взаимоисключающие	Суперпозиция (адаптация / коллапс / трансформация)
Учёт взаимовлияния рисков	Корреляционные матрицы	Квантовое запутывание
Способ моделирования переходов	Вероятности переходов (матрица Маркова)	Амплитуды вероятностей, фазовые сдвиги
Возможность туннелирования ресурсов	Отсутствует	Присутствует (квантово-подобное)
Предсказательная способность при фрагментации >0,6	Низкая (статистически незначима)	Высокая (сохраняется когерентность)

Источник: составлено авторами на основе анализа научной литературы по трём направлениям (классические вероятностные методы, квантовые вероятности, агент-ориентированное моделирование) и результатов собственных вычислительных экспериментов.

Предложенный метод позволяет моделировать суперпозицию управленческих состояний для каждого агента маркетинговой системы – адаптации, коллапса или трансформации. В отличие от классических дискретных состояний, здесь агент может находиться одновременно в нескольких потенциальных траекториях поведения, что соответствует реальной управленческой практике в Арктике, где решения часто принимаются в условиях неполной информации и отложенной обратной связи. Квантово-подобное представление даёт возможность формализовать не только сами состояния, но и амплитуды переходов между ними, учитывая фазовые интерференционные эффекты.

Агент-ориентированная часть метода реализована как мультиагентная система, в которой каждый агент (производитель, переработчик, логистический оператор, розничная сеть) обладает собственной квантовой волновой функцией состояния. Взаимодействие агентов описывается через операторы запутывания, что отличает данный подход от классических агентных моделей, где связи задаются обычными вероятностями или детерминированными правилами. Запутывание кодирует степень когнитивной и институциональной связанности: чем выше запутанность, тем сильнее влияние

геополитического шока на всю сеть.

Геополитическая фрагментация вводится в модель как внешнее поле с изменяющейся интенсивностью и когерентностью. Для её измерения разработан индекс квантовой несепарабельности институциональных контуров, который учитывает как число разорванных связей, так и степень их взаимной корреляции через комплексные фазовые множители. Санкционные режимы моделируются как операторы измерения, «коллапсирующие» суперпозицию состояний агентов в конкретные наблюдаемые стратегии (например, переориентация на внутренний рынок или консервация запасов).

Вычислительный эксперимент проводился на выборке, репрезентирующей типовые маркетинговые системы АПК Арктики: от локальных агропредприятий Мурманской области до распределённых цепочек поставок в Ямало-Ненецком автономном округе. Временной горизонт моделирования охватывал 36 месяцев с дискретностью 1 неделя, что позволило фиксировать как быстрые реакции на геополитические события, так и долгосрочные тренды устойчивости. Всего было смоделировано 500 сценариев, отличающихся степенью начальной запутанности агентов (от 0,1 до 0,9) и скоростью нарастания фрагментации. Основные параметры эксперимента систематизированы в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры вычислительного эксперимента

Параметр	Значение/Диапазон	Примечание
Количество агентов в модели	от 50 до 200	Типовая маркетинговая система АПК Арктики
Временной горизонт	36 месяцев	Дискретность 1 неделя
Количество сценариев	500	Повторность 100 запусков на каждый сценарий
Диапазон степени начальной запутанности	0,1–0,9	Шаг 0,1
Скорость нарастания геополитической фрагментации	0,01–0,05 в неделю	Линейная и экспоненциальная модели
Порог перехода в диссипативный режим	Индекс фрагментации = 0,62	Эмпирически установлен
Q-margin (запас устойчивости)	Вычисляется для каждой системы	Рекомендуемое минимальное значение >0,15

Источник: составлено авторами на основе протокола вычислительного эксперимента, разработанного в рамках исследования. Диапазоны параметров определены по данным региональных управлений АПК и требованиям статистической достоверности (100 репликаций на сценарий). Порог фрагментации 0,62 и минимальное значение Q-margin 0,15 установлены эмпирически.

Результаты эксперимента показали зависимость между запутанностью и устойчивостью. Количественная оценка данного эффекта представлена в таблице 3.

Напротив, децентрализованные структуры с интерференцией локальных стратегий, то есть такие, где агенты сознательно поддерживают когерентность собственных решений и допускают фазовые сдвиги, сохраняют функциональность за счёт квантово-подобного туннелирования ресурсов между кластерами. Под «туннелированием» понимается перераспределение материальных и информационных потоков по путям, которые в классической сети являются запрещёнными или маловероятными, но становятся доступными благодаря интерференции амплитуд вероятностей. Эффективность данного механизма иллюстрирует таблица 4.

Таблица 3 – Влияние степени запутанности на потерю устойчивости при резком росте фрагментации

Степень запутанности	Скорость потери устойчивости (относительно базовой линии, %)	Типовой сценарий
<0,3 (низкая)	–5 (небольшой рост устойчивости)	Локальные производители, слабые связи
0,3 – 0,5 (умеренная)	+10	Сбалансированная маркетинговая система
0,5 – 0,7 (повышенная)	+25	Централизованная логистика
>0,7 (высокая)	+30…+40	Интегрированный агрохолдинг в Арктике

Источник: составлено авторами по результатам вычислительного эксперимента с 500 сценариями при фиксированной скорости роста фрагментации 0,04 в неделю. Процентные значения усреднены по 100 репликациям для каждого интервала запутанности. Потеря устойчивости измеряется как снижение индекса когерентности системы за 8 недель после начала резкого роста фрагментации.

Таблица 4 – Эффективность квантово-подобного туннелирования ресурсов в децентрализованных структурах

Тип маркетинговой системы	Наличие интерференции стратегий	Квантово-подобное туннелирование	Сохранение функциональности при фрагментации >0,7, %
Централизованная, жёсткие связи	Нет	Нет	12
Централизованная, с квантовыми операторами	Частично	Ограниченное	31
Децентрализованная, классическая	Нет	Нет	24
Децентрализованная, с интерференцией (предложенный метод)	Да	Да	67

Источник: составлено авторами на основе вычислительных экспериментов с четырьмя идеальными типами маркетинговых систем. Показатели функциональности получены эмпирически как средние по 100 репликациям для каждого типа.

В ходе вычислительных экспериментов эмпирически определён порог устойчивости, соответствующий значению индекса геополитической фрагментации, равному 0,62. При нахождении системы ниже данной границы квантово-агентная модель фиксирует состояние когерентного поиска решений: суперпозиция управленческих состояний агентов сохраняется, а каждый агент сохраняет способность к успешной адаптации. Превышение порога 0,62 инициирует переход системы в режим стохастической диссипации, отличительными признаками которого выступают быстрое нарастание энтропии и утрата предсказуемости поведения маркетинговой системы. В качестве практически ориентированного критерия для упреждающего управления авторами предложен «квантовый запас устойчивости» (Q-margin), позволяющий инициировать превентивную реконфигурацию до достижения системой критического состояния.

Апробация разработанного метода на реальных данных трёх арктических зон – Мурманской области, Ямало-Ненецкого автономного округа и арктических территорий Норвегии (последняя использована в качестве референсной зоны) – подтвердила его высокую чувствительность к сценариям поляризации логистических коридоров.

Так, при моделировании разрыва западного сектора Северного морского пути классические вероятностные методы прогнозировали падение устойчивости на 45 процентов. Квантово-агентный метод, напротив, выявил более дифференцированную картину: системы, характеризующиеся высокой степенью децентрализации и наличием механизма квантово-подобного туннелирования ресурсов, снизили устойчивость лишь на 18 процентов благодаря оперативной перестройке фазовых соотношений между агентами. Детальные результаты апробации приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Подробная апробация квантово-агентного метода оценки устойчивости

Параметр апробации	Мурманская область (РФ)	Ямало-Ненецкий АО (РФ)	Арктические территории Норвегии (референсная зона)
Характеристика региона			
Тип агромаркетинговой системы	Прибрежная, рыбоперерабатывающие кластеры	Континентальная, оленеводство, тепличные хозяйства	Прибрежная, лососеводство, высокотехнологичные фермы
Количество агентов в модели	78	112	94
Период апробации (месяцев)	24	24	24
Сценарии геополитической фрагментации			
Сценарий № 1: разрыв логистических цепей (сила, у. е.)	0,71	0,68	0,32 (референсный)
Сценарий № 2: санкционные режимы (интенсивность)	0,83	0,75	0,28
Сценарий № 3: изменение статуса территорий	0,59	0,61	0,15
Результаты моделирования классическим методом			
Прогнозируемое падение устойчивости (среднее, %)	44,2	41,7	18,3
Доверительный интервал, % (p=0,05)	±7,1	±6,5	±4,2
Результаты моделирования квантово-агентным методом			
Фактическое падение устойчивости (среднее, %)	28,6	26,9	16,8
Коэффициент запутанности (исходный)	0,68	0,72	0,41
Коэффициент запутанности (после фрагментации)	0,43	0,38	0,44
Степень интерференции локальных стратегий (0-1)	0,57	0,49	0,38
Наличие квантово-подобного туннелирования	Да (частичное)	Да (ограниченное)	Нет

Параметр апробации	Мурманская область (РФ)	Ямало-Ненецкий АО (РФ)	Арктические территории Норвегии (референсная зона)
Q-margin (запас устойчивости)	0,19	0,17	0,08
Сравнительная оценка			
Отклонение квантово-агентного прогноза от классического (п.п.)	–15,6	–14,8	–1,5
Когерентность системы после фрагментации (0-1)	0,52	0,48	0,71
Рекомендуемая стратегия реконфигурации	Децентрализация логистики, создание интерференционных узлов	Резервирование кросс-кластерных потоков	Сохранение текущей стратегии
Верификационные метрики			
Количество итераций верификации	150	150	150
Чувствительность метода (AUC)	0,87	0,84	0,79
Специфичность метода	0,82	0,80	0,76
Средняя ошибка прогноза (MAPE, %)	11,3	12,1	8,7

Источник: составлено авторами на основе верификации метода на реальных данных региональных управлений АПК, таможенной статистики и экспертных интервью за период 2023–2025 годов. Результаты классического метода получены с помощью ARIMAX-модели на тех же данных. Верификационные метрики рассчитаны сравнением прогнозов с фактическими значениями

Информация, представленная в таблице 5, подтверждает, что разработанный квантово-агентный метод устойчиво превосходит классические вероятностные подходы в отношении точности прогнозирования устойчивости маркетинговых систем агропромышленного комплекса, функционирующих в арктической зоне. Для регионов, характеризующихся максимальным уровнем геополитической фрагментации (Мурманская область и Ямало-Ненецкий автономный округ, где индексы санкционного давления достигли 0,83 и 0,75 соответственно), традиционные модели давали прогноз снижения устойчивости на 44,2 % и 41,7 %, в то время как применение квантово-агентного моделирования позволило зафиксировать существенно более низкие значения утраты устойчивости - 28,6 % и 26,9 %. Разница в 15–16 процентных пунктов объясняется тем, что квантово-агентный подход, в отличие от классического, принимает во внимание интерференцию локальных стратегий (зафиксированные степени интерференции – 0,57 и 0,49) и присутствие эффекта квантово-подобного туннелирования ресурсов. Благодаря этому система оказывается способной частично компенсировать внешние возмущения даже при изначально высоких показателях запутанности агентов (0,68 и 0,72).

Ещё одним важным итогом апробационных мероприятий стало подтверждение практической полезности критерия Q-margin (квантового запаса устойчивости) в роли индикатора, сигнализирующего о предколлапсных состояниях системы. В Мурманской области величина Q-margin составила 0,19, в Ямало-Ненецком автономном округе – 0,17; эти значения формально превышают рекомендуемый минимальный порог (0,15), однако указывают на наличие неблагоприятной тенденции к дальнейшему

снижению. Наиболее показательным в данном контексте выступает сравнение начальных и конечных коэффициентов запутанности: по Мурманской области данный показатель уменьшился с 0,68 до 0,43, по ЯНАО – с 0,72 до 0,38, тогда как в Норвегии он практически остался неизменным (0,41 против 0,44). Это свидетельствует о том, что в российских арктических регионах под действием геополитической фрагментации произошла вынужденная декогеренция системы, то есть разрыв ранее плотных связей между агентами. Следствием этого стало, с одной стороны, уменьшение риска возникновения катастрофического резонанса, а с другой – снижение координационного потенциала. Уровень когерентности системы после воздействия фрагментации в Мурманской области составил 0,52, в ЯНАО – 0,48; эти значения соответствуют зоне «когерентного поиска решений», находящейся ниже порога 0,62, но при этом приближаются к критической области. Полученные результаты создают предпосылки для интеграции квантово-агентного метода в цифровые двойники агропромышленных систем Арктики.

Разработанный квантово-агентный гибридный метод, таким образом, является эффективным инструментом анализа и прогнозирования устойчивости маркетинговых систем АПК Арктики в условиях геополитической неопределённости. Его практическая ценность заключается в способности раннего обнаружения предколлапсных состояний (сочетание повышенной запутанности с началом фрагментации) и выработке рекомендаций по децентрализации и усилению интерференционных механизмов. В качестве дальнейшего направления исследований предполагается интеграция метода в цифровые двойники арктических агромаркетинговых систем. Дополнительно к решению основной задачи авторами впервые предложен и верифицирован на реальных данных алгоритм превентивной реконфигурации, базирующийся на динамическом мониторинге двух ключевых показателей – Q-margin и степени интерференционной когерентности агентов. В отличие от традиционных подходов, ориентированных на постфактумное реагирование на уже наступивший кризис (санкционный шок, разрыв логистической цепи, коллапс маркетингового канала), данный алгоритм позволяет осуществлять упреждающие управленческие воздействия в момент, когда система ещё сохраняет когерентность, но уже входит в зону нестабильности.

Алгоритм включает пять последовательных этапов. На первом этапе с дискретностью одна неделя осуществляется непрерывный сбор данных о состоянии каждого агента (производитель, переработчик, логист, розничная сеть), включая показатели товарных потоков, финансовых обязательств и логистических задержек. На втором этапе для каждого агента строится квантовая волновая функция состояния в базисе |Адаптация⟩, |Коллапс⟩, |Трансформация⟩ с определением комплексных амплитуд вероятностей. Третий этап посвящён вычислению глобальной матрицы плотности всей маркетинговой системы и расчёту Q-margin как расстояния от текущего состояния системы до порога фрагментации 0,62. Четвёртый этап предполагает сравнение Q-margin с пороговыми значениями и оценку производной запутанности по времени. Пятый этап – активация сценария реконфигурации в зависимости от зоны, в которой находится система. Эмпирически установлены три зоны превентивного управления. «Зелёная зона» (Q-margin > 0,25) соответствует устойчивой когерентной работе, при которой достаточно стандартного мониторинга. «Жёлтая зона» (Q-margin в интервале 0,15–0,25) квалифицируется как зона когнитивной предколлапсной нестабильности: классические методы мониторинга ещё не фиксируют значимых отклонений (отклонения наблюдаемых параметров не превышают 5–7 % от нормы), однако квантово-агентный метод выявляет скрытую синхронизацию фазовых сдвигов между агентами. В этой зоне требуется реализация сценариев превентивной реконфигурации. «Красная зона» (Q-margin < 0,15) –

зона критической декогеренции, где система находится на грани перехода в режим стохастической диссипации; здесь необходимы экстренные меры.

Для количественной оценки эффективности предложенного алгоритма была проведена серия вычислительных экспериментов на тех же трёх типах арктических маркетинговых систем, что и в таблице 5: прибрежные рыбоперерабатывающие кластеры Мурманской области, континентальные системы оленеводства и тепличных хозяйств ЯНАО, а также референсная зона Норвегии. В каждом эксперименте моделировался сценарий резкого нарастания геополитической фрагментации (скорость 0,04 в неделю, что соответствует шоковому введению санкционных ограничений), а алгоритм превентивной реконфигурации активировался при достижении Q-margin порога 0,20. Систематизированные результаты эксперимента приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Эффективность превентивной реконфигурации на основе Q-margin в трёх арктических зонах

Показатель	Мурманская область	Ямало-Ненецкий АО	Норвегия (референс)
Q-margin, при котором активирована реконфигурация	0,20	0,20	0,20 (имитация)
Время от активации до перехода фрагментации >0,62 (недель)	6	5	14
Падение устойчивости с превентивной реконфигурацией, %	18,7	20,3	15,1
Падение устойчивости без реконфигурации (контроль), %	28,6	26,9	16,8
Эффективность превентивного вмешательства (снижение потерь), п.п.	9,9	6,6	1,7
Количество агентов, потребовавших реконфигурации	23 из 78 (29,5 %)	41 из 112 (36,6 %)	12 из 94 (12,8 %)
Затраты на реконфигурацию (относительные)	1,42	1,38	1,12

Источник: составлено авторами на основе дополнительной серии вычислительных экспериментов с активацией алгоритма при Q-margin = 0,20. Затраты на реконфигурацию оценены методом экспертных интервью и нормированы относительно базового уровня.

В таблице 6 затраты на проведение реконфигурации приведены в относительном выражении: за базовый уровень (1,0) приняты операционные затраты системы, находящейся в «зелёной зоне». Падение устойчивости рассматривается как снижение индекса когерентности системы за двенадцать недель, следующих за началом шокового воздействия. Полученные данные свидетельствуют, что активация превентивной реконфигурации при значении Q-margin, равном 0,20, позволяет сократить потери устойчивости на 6,6–9,9 процентного пункта для российских арктических регионов, причём максимальный эффект зафиксирован в Мурманской области (снижение падения с 28,6 % до 18,7 %).

Вторым ключевым аспектом апробации стало сопоставление операционных затрат при превентивном вмешательстве и при экстренной реконфигурации, которая инициируется после того, как система уже преодолела порог фрагментации 0,62 и перешла в режим стохастической диссипации. Для этого был проведён дополнительный вычислительный эксперимент, в котором реконфигурация запускалась не при достижении Q-margin = 0,20, а постфактум – через четыре недели после того, как индекс фрагментации превысил критическую отметку 0,62. Полученные результаты обобщены в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнение превентивного и экстренного сценариев реконфигурации

Показатель	Мурманская область	Ямало-Ненецкий АО
Превентивный сценарий (Q-margin = 0,20)		
Падение устойчивости, %	18,7	20,3
Затраты на реконфигурацию (относительные)	1,42	1,38
Время реализации реконфигурации (недель)	4	5
Экстренный сценарий (после фрагментации >0,62)		
Падение устойчивости, %	31,2	29,8
Затраты на реконфигурацию (относительные)	2,87	2,54
Время реализации реконфигурации (недель)	9	10
Сравнение		
Экономия затрат (превент. /экстр.), %	50,5	45,7
Снижение потерь устойчивости (превент. /экстр.), п.п.	12,5 п.п.	9,5 п.п.
Выигрыш во времени (превент. /экстр.), недель	5	5

Источник: составлено авторами путём сравнения двух типов сценариев в вычислительном эксперименте. Экстренный сценарий смоделирован с задержкой реконфигурации на 4 недели после превышения порога фрагментации 0,62, что соответствует среднему времени реакции органов управления по данным экспертных оценок.

Приведённые в таблице 7 данные убедительно подтверждают преимущества превентивного подхода по трём ключевым направлениям. Во-первых, превентивное вмешательство при значении Q-margin = 0,20 требует на 40–55 % меньших операционных затрат по сравнению с экстренной реконфигурацией (1,38–1,42 против 2,54–2,87). Отмеченная разница обусловлена тем, что в пределах «жёлтой зоны» система продолжает сохранять когерентность, взаимосвязи между агентами остаются ненарушенными, а реконфигурация может проводиться путём локальной подстройки фазовых соотношений и интерференционных узлов. В противоположность этому в режиме диссипации возникает необходимость в практически полной перестройке маркетинговой сети. Во-вторых, упреждающий (превентивный) сценарий обеспечивает сокращение потерь устойчивости на 9,5–12,5 процентного пункта по сравнению с экстренным вариантом реагирования. В-третьих, продолжительность выполнения реконфигурационных мероприятий при превентивном подходе оказывается почти вдвое меньше (4–5 недель против 9–10 недель), что приобретает ключевое значение для арктических систем, где временное окно для осуществления логистических операций зачастую ограничено сезонными условиями.

На основании полученных выводов для каждой из исследуемых территорий были разработаны конкретные стратегии превентивной реконфигурации, учитывающие особенности типа агромаркетинговой системы. Применительно к Мурманской области, которую представляют прибрежные рыбоперерабатывающие кластеры, в качестве рекомендуемой меры предложена децентрализация логистических процессов с формированием интерференционных узлов, иными словами, выделение полуавтономных распределительных центров, способных по мере необходимости входить в фазовую синхронизацию, а при резком усилении фрагментации функционировать автономно. Для Ямало-Ненецкого автономного округа, где преобладают континентальные системы, основанные на оленеводстве и тепличном хозяйстве, эффективной признана стратегия резервирования межкластерных (кросс-кластерных) потоков, которая предполагает организацию нескольких независимых каналов распределения продукции с возможностью осуществления квантово-подобного туннелирования ресурсов между отдельными кластерами. Детальное описание перечисленных стратегий в форме совокупности операционных процедур приведено в таблице 8.

Таблица 8 – Детализированные стратегии превентивной реконфигурации для арктических зон

Элемент стратегии	Мурманская область	Ямало-Ненецкий АО
Основная стратегия	Децентрализация логистики + интерференционные узлы	Резервирование кросс-кластерных потоков
Типы агентов, подлежащих реконфигурации	Логистические операторы (68 %), розничные сети (32 %)	Переработчики (54 %), производители (46 %)
Параметры интерференции	Фазовый сдвиг $\Delta\varphi = \pi/4$, когерентность цели 0,55	Фазовый сдвиг $\Delta\varphi = \pi/3$, когерентность цели 0,50
Целевой Q-margin после реконфигурации	>0,22	>0,20
Контрольные индикаторы успеха	Рост интерференции на 15 %, снижение запутанности >0,50	Стабилизация запутанности в интервале 0,35–0,45
Частота пересмотра стратегии	1 раз в 4 недели	1 раз в 6 недель
Ожидаемое время до следующего критического порога	10–14 недель	12–16 недель

Источник: составлено авторами на основе обобщения результатов вычислительных экспериментов и экспертных интервью с 15 экспертами в каждом регионе. Параметры интерференции подобраны эмпирически в ходе калибровочных экспериментов. Частота пересмотра стратегии и ожидаемое время до следующего порога определены имитационным моделированием.

Таким образом, предложенный алгоритм превентивной реконфигурации на основе мониторинга Q-margin и производной запутанности представляет собой третий научный результат, замыкающий логическую цепочку исследования: от разработки метода (результат 1) через выявление пороговых эффектов (результат 2) к практическому инструменту упреждающего управления (результат 3). Эмпирически доказано, что превентивное вмешательство при Q-margin = 0,20 ± 0,02 требует на 40–55 % меньших операционных затрат по сравнению с экстренной реконфигурацией после перехода порога фрагментации 0,62, а также позволяет снизить потери устойчивости на 9–12 процентных пунктов. Разработанные стратегии реконфигурации дифференцированы для двух типов арктических систем — прибрежных кластеров и континентальных хозяйств. Полученные результаты создают основу для интеграции квантово-агентного метода в цифровые двойники агропромышленных систем Арктики с функцией поддержки принятия решений в режиме реального времени. Дальнейшие исследования будут направлены на автоматизацию расчёта Q-margin и создание интерфейса «человек-машина» для лиц, принимающих решения в региональных органах управления АПК.

Проведённое исследование позволило разработать и верифицировать квантово-агентный гибридный метод оценки устойчивости арктических агромаркетинговых систем, который принципиально отличается от классических вероятностных подходов, доминирующих в современной литературе. Традиционные модели, основанные на корреляционных матрицах, марковских процессах и регрессионных уравнениях [2; 3; 7; 8], предполагают, что факторы риска действуют изолированно или могут быть адекватно описаны линейными связями. Результаты нашего исследования показывают, что в условиях геополитической фрагментации в Арктике поставленное предположение оказывается неверным: санкционные меры, разрывы в логистических цепях и изменение статуса территорий создают несепарабельный комплекс взаимовлияющих возмущений, которые можно корректно описать только с помощью подходов квантовой запутанности. Этот вывод согласуется с работами зарубежных авторов [18; 19], указы-

вающих на необходимость разработки новых методов для оценки устойчивости агропродовольственных систем, однако предлагаемые решения остаются в рамках классической парадигмы. В отличие от них, мы предлагаем новый подход, который использует суперпозицию трёх состояний: адаптации, разрушения (коллапса) и трансформации. Это эмпирически подтверждает гипотезу о том, что классические вероятностные модели больше не применимы, когда индекс фрагментации превышает 0,6.

Сравнение с существующими работами показывает, что предложенный метод занимает уникальную нишу. Исследования в области маркетинговой устойчивости [1; 5; 10; 13] фокусируются на внутренних факторах предприятий и не рассматривают геополитическую фрагментацию как системный феномен. Работы по экономико-математическому моделированию АПК [8; 15; 16] предлагают регрессионные и марковские модели, которые, как показало наше исследование, дают ошибку более 25 % при высоком уровне фрагментации. Зарубежные подходы к оценке устойчивости агропродовольственных систем [9; 18; 19] более разнообразны, но также остаются в рамках классической вероятностной парадигмы. Наш метод впервые вводит в проблематику агропромышленного комплекса концепции квантовых вероятностей, что не только повышает точность прогноза, но и открывает новое научное направление – квантово-вдохновлённое моделирование маркетинговых систем в обстановке глубокой неопределённости. Перспективы дальнейших исследований связаны с апробацией метода в других геополитически напряжённых регионах (например, в приграничных территориях Дальнего Востока), с интеграцией в технологии цифровых двойников и с созданием упрощённого пользовательского интерфейса для практиков. В целом полученные результаты подтверждают, что квантово-агентный подход является не только математически корректным, но и практически полезным инструментом для повышения устойчивости арктических агромаркетинговых систем.

Заключение

В ходе представленного исследования был создан и прошёл экспериментальную проверку гибридный метод квантово-агентного типа для оценки того, насколько устойчивы маркетинговые структуры агропромышленного комплекса в Арктике. Данный подход позволяет обойти ограничения, характерные для классических вероятностных моделей в условиях сильной геополитической раздробленности. Ключевое отличие предлагаемого подхода заключается в умении воспроизводить суперпозицию управленческих альтернатив для каждого действующего субъекта (адаптация, разрушение, преобразование), принимать во внимание квантовую запутанность как способ описания взаимного влияния институциональных рисков, а также имитировать явление туннелирования ресурсов между кластерами по аналогии с квантовыми эффектами, что недостижимо для традиционных моделей. Вычислительные эксперименты, выполненные с использованием данных по Мурманской области, Ямало-Ненецкому автономному округу и норвежским арктическим территориям, выявили, что маркетинговые системы, в которых степень запутанности агентов высока (превышает 0,7), при стремительном нарастании фрагментации утрачивают устойчивость в 1,3–1,4 раза быстрее, тогда как децентрализованные структуры, использующие интерференцию локальных подходов, сохраняют свои функции благодаря механизму туннелирования ресурсов.

Таким образом, предложенный квантово-агентный гибридный метод и основанный на нём алгоритм превентивной реконфигурации представляют собой эффективные инструменты для анализа, прогнозирования и управления устойчивостью агромаркетинговых систем АПК в Арктике в условиях геополитической неопределён-

ности. Практическая значимость результатов работы заключается в способности заблаговременно выявлять предколлапсные состояния, снижать операционные затраты на реконфигурацию и повышать уровень когерентности системы после воздействия внешних факторов.

Полученные результаты могут служить основой для внедрения метода в цифровые двойники арктических агромаркетинговых систем с функцией реального времени для поддержки принятия решений. Однако исследование имеет ограничения: модель была откалибрована на данных трёх арктических регионов за определённый период; экспертные оценки фазовых сдвигов в волновых функциях агентов несут элемент субъективности; а высокая вычислительная сложность метода требует больших ресурсов для систем с количеством агентов более 200. В дальнейшем планируется направить усилия на автоматизацию расчёта Q-margin с помощью машинного обучения, расширение эмпирической базы на другие арктические территории и разработку более простого интерфейса для пользователей, не обладающих специальной подготовкой в области квантовых моделей. Результаты работы могут быть рекомендованы региональным органам управления АПК, отраслевым объединениям и логистическим операторам в арктической зоне для мониторинга и управления цепочками поставок.

Список источников:

1. Авакян С. А. Основные элементы формирования системы управления маркетинговой устойчивостью аграрного бизнес-проекта // Экономика устойчивого развития. – 2021. – № 1(45). – С. 9-14. – EDN FCONKQ.

2. Оценка рыночной устойчивости организаций аграрного сектора / Н. К. Васильева, Е. В. Сидорчукова, С. С. Колотий, Н. К. Пан // Естественно-гуманитарные исследования. – 2021. – № 36(4). – С. 87-91. – DOI 10.24412/2309-4788-2021-11274. – EDN OPBWDL.

3. Геращенко И. П., Василенко А. А. Построение модели оценки маркетинговой устойчивости компаний // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2014. – № 1(25). – С. 18-29. – EDN RZRJBZ.

4. Курбанов Р. К., Никифорова Е. С. К вопросу построения комплексной информационной автоматизируемой системы оценки продовольственных рынков // Сборник научных докладов ВИМ. – 2008. – Т. 2. – С. 216-222. – EDN OYZZEH.

5. Малюта К. С. Формирование концептуальной модели маркетингового управления для обеспечения устойчивой конкурентоспособности аграрных предприятий региона // Инновации и инвестиции. – 2025. – № 4. – С. 268-271. – EDN FFYVSU.

6. Медяник Н. В., Чередниченко О. А., Долготько Н. А. Формирование сбалансированной системы индикаторов для оценки степени достижения целей устойчивого развития в национальной агропродовольственной системе // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2021. – № 12-1. – С. 132-142. – DOI 10.17513/vaael.1975. – EDN CBIIUP.

7. Плешакова Е. А. Методы оценки финансовой устойчивости агропромышленных предприятий // Промышленность и сельское хозяйство. – 2025. – № 9(88). – С. 78-82. – EDN CQQKOH.

8. Полушкина Т. В., Горбунова Е. Е., Бутюгина А. А. Применение экономико-математических моделей в агропромышленном комплексе // Актуальные вопросы современной экономики. – 2021. – № 2. – С. 9-14. – DOI 10.34755/IROK.2021.46.23.001. – EDN CXYWOC.

9. Романенко И. А., Евдокимова Н. Е. Методы экономической оценки стратегий устойчивого развития агропродовольственных систем — зарубежный опыт // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2023. – Т. 240, № 2. – С. 257-280. – DOI 10.38197/2072-2060-2023-240-2-257-280. – EDN TSQAEM.

10. Агромаркетинг: теория и практика / Е. В. Самаева, Э. В. Эрдниева, Б. Э. Эвиева [и др.] // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 8(145). – С. 1178-1182. – DOI 10.34925/EIP.2022.145.8.244. – EDN WOCUDZ.

11. Скороходов С. Н. Инструменты модернизации стратегий цифрового маркетинга в

агропромышленном комплексе // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2025. – № 11. – С. 195-199. – DOI 10.31442/0235-2494-2025-0-11-195-199. – EDN TJACWB.

12. Терютина М. М. Системный подход к вопросам устойчивого развития в сельскохозяйственных и продовольственных системах // Естественно-гуманитарные исследования. – 2022. – № 43(5). – С. 305-315. – EDN KBKSLG.

13. Шутов М. М., Ладыш И. А. О возможности применения маркетинг-микс концепции 4P в агропромышленном комплексе // Научный вестник Луганского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3(12). – С. 239-244. – EDN BZGWUT.

14. Bahorka M., Kadyrus I. Formation of the marketing system of an agricultural enterprise // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – 2023. – No. 1(127). – P. 7-12. – DOI 10.32782/1814-1161/2023-1-7. – EDN NHGWHK.

15. The methodical approach of the substantiation of the evaluation indicators system of the agro-industrial complex development / B. Iegorov, Y. Kravchyk, S. Rybalko [et al.] // Universal Journal of Agricultural Research. – 2021. – Vol. 9, No. 5. – P. 191-199. – DOI 10.13189/ujar.2021.090506. – EDN EOVDOH.

16. Kolotukha S. M., Melnyk K. M. Land market development of agrarian sector of the economy in a context of financial instability // Collected Works of Uman National University of Horticulture. – 2022. – Vol. 2, No. 100. – P. 142-156. – DOI 10.31395/2415-8240-2022-100-2-142-156. – EDN TUKNPJ.

17. Makarova V., Ustik T., Ustik D. Evaluation of the marketing complex of an agrarian enterprise in conditions of digitization and globalization of business // Інфраструктура ринку. – 2024. – No. 79. – P. 31-38. – DOI 10.32782/infrastruct79-31. – EDN IRF-BQI.

18. Nikishyna O. Methodical Bases of Evaluation the Stability of Reproduction Development of Agro-Food Markets // Экономика: реалии времени. – 2023. – Vol. 5, No. 69. – P. 63-76. – DOI 10.15276/etr.05.2023.6. – EDN IOYJHU.

19. Nikishyna O. V., Nosova N. I. Scientific approaches and potential for resilience of agro-industrial markets systems in the conditions of modern challenges // Економічні інновації. – 2025. – Vol. 27, No. 2(95). – P. 111-124. – DOI 10.31520/ei.2025.27.2(95).111-124. – EDN DDTWXM.

Статья поступила в редакцию / Received: 24.04.2026
Доработана после рецензирования / Revised: 20.05.2026
Принята к публикации / Accepted: 25.05.2026