

Региональная и отраслевая экономика Regional and branch economy

Научная статья

УДК 631.5

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15603>



РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

И.А. Еремина¹  , А.А. Юдин² 

Т.В. Тарабукина¹ , А.В. Облизов³ 

¹ Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

² Федеральный исследовательский центр "Коми научный центр Уральского отделения
Российской академии наук", Сыктывкар, Российская Федерация;

³ Коми республиканская академия государственной службы и управления,
Сыктывкар, Российская Федерация

 irenalks@mail.ru

Аннотация. Способность национального хозяйства страны в обеспечении достаточным количеством продуктов питания населения определяет благосостояние и развитость агропромышленного комплекса (АПК) – совокупной производственно-экономической системы, производящей, перерабатывающей сельскохозяйственную продукцию и доводящей ее до потребителя. Для реализации заявленной цели в проведенном исследовании обоснована необходимость формирования единой методики разработки моделей цифровизации для АПК. Актуальность темы исследования обусловлена тем, что как и прочие отраслевые и межотраслевые индустриальные комплексы, АПК имеет свои основные цели на долгосрочный период: обеспечение абсолютного удовлетворения спроса жителей страны в пищевой продукции, изготовленной из сырьевых ресурсов; постепенное улучшение качества жизнедеятельности работников сельских территорий на базе увеличения производительности комплекса; внедрение инноваций в развитие сельского хозяйства, всех этих аспектов невозможно достичь без внедрения цифровых технологий. При этом в настоящее время отсутствуют комплексные исследования, позволяющие моделировать развитие сельского хозяйства с учетом проактивного вектора и в условиях цифровых трансформаций. Научная новизна определяется наметившимся противоречием между требованиями практики по научному объяснению (оцениванию, анализу) результатов использования цифровых бизнес – процессов, в частности, основанных на применении технологии интернета вещей, и имеющимися средствами (концептуальными, формальными моделями, методами и методиками) такого научного объяснения. Необходим авторский подход, позволяющий сочетать эти элементы. Целью данного исследования является разработка моделей развития цифровизации агропромышленного комплекса Республики Коми на примере конкретных муниципальных районов на основе комплексного сочетания концептуальных и формальных моделей, позволяющих оценивать показатели результативности использования цифровых бизнес – процессов, в том числе и на основе применения технологии интернета вещей. В процессе исследования был применены методы обобщения и синтеза, статистического, динамического и структурного анализа, абстрактно-логический метод. В результате были получены следующие научные результаты: разработаны модели развития цифровизации агропромышленного комплекса Республики Коми; построены ADL-модели развития цифровизации сельского хозяйства в Республике Коми; описана модель формирования результатов использования цифровых бизнес – процессов, основанных на применении технологии интернет вещей, через систематизацию факторов, определяющих специфику развития сельского хозяйства. Апробация выполнена на основе исследования конкретных муниципальных районов Республики Коми. Полученные результаты и выводы могут быть использованы при трансформационных процессах развития агропромышленного комплекса в условиях проактивного внедрения цифровых моделей.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, цифровизация, цифровые технологии, сельское хозяйство, интернет вещей, цифровая модель

Для цитирования: Еремина И.А., Юдин А.А., Тарабукина Т.В., Облизов А.В. Разработка моделей цифровизации агропромышленного комплекса Республики Коми // *П-Economy*. 2022. Т. 15, № 6. С. 33–53. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15603>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15603>



DEVELOPMENT OF DIGITALIZATION MODELS FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE KOMI REPUBLIC

I.A. Eremina¹  , A.A. Yudin² ,
T.V. Tarabukina² , A.V. Oblizov³ 

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation;

² Federal Research Centre "Komi Science Centre of the Ural Branch
of the Russian Academy of Sciences", Syktyvkar, Russian Federation;

³ The Komi Republican Academy of state service and management,
Syktyvkar, Russian Federation

 irenalks@mail.ru

Abstract. The ability of the country's national economy to provide a sufficient amount of food for the population is determined by the well-being and development of the agro-industrial complex (AIC): the total production and economic system that produces, processes agricultural products and brings them to the consumer. To achieve the stated goal, the study substantiates the need to form a unified methodology for developing digitalization models for the agro-industrial complex. The relevance of the research topic is due to the fact that, like other sectoral and intersectoral industrial complexes, the agro-industrial complex has its main goals for the long term: ensuring absolute satisfaction of the demand of the country's inhabitants in food products made from raw materials; gradual improvement of the quality of life of workers in rural areas on the basis of increasing the productivity of the complex; introduction of innovations in the development of agriculture. All these aspects cannot be achieved without the introduction of digital technologies. At the same time, there are currently no comprehensive studies that allow modeling the development of agriculture taking into account the proactive vector and in the context of digital transformations. Scientific novelty is determined by the emerging contradiction between the requirements of practice for the scientific explanation (evaluation, analysis) of the results of using digital business processes, in particular, those based on the use of the Internet-of-things technology, and the available means (conceptual, formal models, methods and techniques) of such a scientific explanation. An author's approach is needed to combine these elements. The purpose of this study is to build models for the development of digitalization of the agro-industrial complex of the Komi Republic on the example of specific municipal districts based on a complex combination of conceptual and formal models that allow evaluating the performance indicators of using digital business processes, including those based on the use of the Internet-of-things technology. In the process of the research, the methods of generalization and synthesis, statistical, dynamic and structural analysis, the abstract-logical method were applied. As a result, the following scientific results were obtained: models for the development of digitalization of the agro-industrial complex of the Komi Republic were developed; ADL-models for the development of digitalization of agriculture in the Komi Republic were built; a model for generating the results of using digital business processes based on the use of the Internet-of-things technology was described through the systematization of factors that determine the specifics of the development of agriculture. The approbation was carried out on the basis of a study of specific municipal districts of the Komi Republic. The results and conclusions obtained can be used in the transformational processes of development of the agro-industrial complex in the context of the proactive introduction of digital models.

Keywords: agro-industrial complex, digitalization, digital technologies, agriculture, internet of things, digital model

Citation: I.A. Eremina, A.A. Yudin, T.V. Tarabukina, A.V. Oblizov, Development of digitalization models for the agro-industrial complex of the Komi Republic, *П-Economy*, 15 (6) (2022) 33–53. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.15603>

Введение

Применение современных цифровых технологий способствует повышению эффективности от таких операций как посев, уборка, обработка от сорняков и вредителей, позволяет производить векторизацию посевной площади и др. Применение технологии точного земледелия минимизирует факторы неопределенности, позволяет планировать и рационально использовать производственные процессы, увеличить производительность труда. Внедрение цифровых сервисов и моделей в АПК способствует повышению эффективности администрирования АПК, оборачиваемости капитала, эффективности использования ресурсов, делает процесс государственной поддержки прозрачным, позволяет снизить расходы сельскохозяйственных товаропроизводителей на предоставление отчетности. В настоящее время АПК нуждается в государственной поддержке, что позволит сократить технологическое отставание России, в том числе и Республики Коми от ведущих стран мира по уровню производительности труда в АПК посредством внедрения цифровых технологий на основе комплексного применения различных цифровых моделей и решений. Необходимо отметить возрастающую роль цифрового моделирования во многих отраслях экономики, в том числе и в сельском хозяйстве, внедрение цифровых решений, ведет к снижению издержек, повышению качества продукции, оптимизирует бизнес-процессы, ускоряет управленческие решения, делая их при этом точнее.

Проблема состоит в том, что предприятия не спешат проводить цифровую трансформацию, в связи с консервативностью руководства, нет готовности сотрудников к переменам, сложность процесса и не понимание перспектив и преимуществ устойчивого развития, в связи с чем есть потребность разработать единую методологию, позволяющую адаптировать применение цифровых моделей и решений под различные бизнес-процессы в сельском хозяйстве.

Данная проблематика рассматривалась различными учеными, которые предлагали оценивать эффективность внедрения цифровых решений, оценить барьеры и трудности, связанные с осуществлением цифровой трансформации в сельском хозяйстве [1–3]. Формирование единой методологии оценки готовности предприятия АПК к трансформациям в цифровом пространстве было рассмотрено в современной экономической литературе [4–6], но наш взгляд, исследования носят точечный характер и отсутствует единый подход в методологии и предлагаемом инструментарии.

В рамках рассматриваемой темы необходимо обратить внимание на методы оценки готовности предприятий АПК к цифровой трансформации. В исследованиях [7–9] описана суть процесса цифровой трансформации, указано какие существуют ключевые задачи, где и какие изменения происходят в организации, например: повышение гибкости предприятия, то есть изменение бизнес-процессов и переоценка продукции; изменение культуры организации, наглядным примером выступают ИТ-компании, с выделяющийся корпоративной культурой. В центре формирования новой стратегии цифровой трансформации становится потребность в оценке способности предприятия к подобным изменениям, так называемая «оценка цифровой зрелости» [10]. В работе [11] проанализированы методы ее оценки, в результате которой сформировано пять направлений, по которым нужно проводить данную оценку «цифровой зрелости»: бизнес-модель и стратегия организации; клиенты, потребители или заказчики; корпоративная культура и кадры; операционные процессы и информационные технологии. Для того чтобы оценить уровень цифровизации предприятия АПК можно применить методiku, предложенную авторами [12], но наш взгляд она не адаптирована под региональную практику.

Так же существует несколько моделей для оценки готовности малых предприятий к цифровой трансформации: модель цифровой зрелости DBA (компания KPMG); уровни зрелости модели Forester 4.0 (Предприятие СММИ); индекс зрелости Индустрии 4.0 (ассоциация Acatech) [13]. При рассмотрении сельского хозяйства необходимо учитывать региональный аспект [14]. Проведенное нами исследование предполагает использование различных методов статистического анализа, в частности в качестве инструмента анализа была выбрана математическая модель, представляющая собой систему взаимосвязанных уравнений, описывающая и оценивающая эффективность внедрения цифровых решений.

Объектом исследования выступает агропромышленный комплекс Республики Коми (муниципальные районы: Княжпогостский, Сыктывдинский, Сысольский)). Предметом исследования являются совокупность объективных и субъективных факторов, определяющих механизмы формирования моделей развития цифровизации агропромышленного комплекса Республики Коми.

Мы полностью поддерживаем ведущих экономистов в том, что эффективность цифровых моделей базируется на следующих ключевых конкурентных преимуществах: скорость предоставления продукта; максимальная продуктивность; максимальное качество (ценность); минимальные затраты, в том числе и транзакционные, за счет эффекта масштаба (совместного пользования); высокая гибкость и адаптируемость к изменениям [15]. С развитием интернета вещей появилось отдельное ответвление данной технологии, промышленный интернет вещей, оно представляет собой комплекс считывающих и вычислительных устройств, включенных в информационную сеть предприятия АПК, с целью считывания и обработки данных во время производственных процессов. Что косвенно говорит о начале процесса цифровой трансформации, то есть наполнение данной отрасли устройствами обработки, считывания и анализа данных, вычислительным оборудованием [16]. Для реализации процесса цифровой трансформации предприятия АПК отдельными авторами исследована возможность применения ряда мероприятий по совершенствованию цифрового моделирования, а именно внедрение автоматизированной системы с использованием технологии Big Data [17]. Отмечено, что внедрение таких цифровых технологий как большие данные и облачные технологии дает возможность предприятию АПК минимизировать финансовые риски и финансовые потери, снизить трудозатраты [18].

Эволюция агропромышленного комплекса, по мнению Д.А. Зюкина, должна рассматриваться в направлении пересмотра важнейших инновационных факторов стратегического развития, отражающих технологии цифровой экономики, и совокупности управленческих инструментов, необходимых для своевременного приспособления к глобальным изменениям условий развития [19]. Роль цифровизации в производственных процессах агропромышленного комплекса исследована в трудах, М.М. Нафикова [20], Т.А. Пантелеевой [21], А.В. Плотникова [22]. Так исследуя цифровую трансформацию агропромышленного комплекса, авторы отмечают, что процесс цифровизации отрасли зависит от уровня стратегического развития, определенных особенностей территориального развития, направлений государственной поддержки, а также от уровня заинтересованности в инновациях. Н.П. Шкилев в своем исследовании определяет совокупность отраслевых проблем, которые препятствуют цифровизации отрасли, делая акцент на реализацию государственной политики развития цифровой экономики [23].

При этом на наш взгляд, необходимо отойти от формализованного подхода и перейти к рассмотрению комплексного сочетания концептуальных и формальных моделей, позволяющих оценивать показатели результативности использования цифровых бизнес – процессов и моделей, в том числе и на основе применения технологий интернета вещей разработать универсальную методику развития цифровизации в сельском хозяйстве.

Литературный обзор. Внедрение цифровых технологий и соответствующих моделей цифровизации является одной из основных задач для развития бизнеса в течение последних лет, в том числе для сельского хозяйства. Развитие новых цифровых трендов и предпочтения потребителей



вынуждают сельскохозяйственные организации адаптироваться к новым реалиям. Для эффективного взаимодействия всех заинтересованных сторон этого процесса необходимо моделирование адаптированных под стратегические задачи развития АПК цифровых моделей. Изучению сущности цифровизации, цифровой экономики, цифровой трансформации в агропромышленном комплексе посвящены работы следующих авторов: И.М. Абазова [4], О.С. Агарковой [5], Т.Н. Астаховой [6], В.В. Герасимовой [7], А.А. Гретченко [8], Ф.И. Ерешко [9], Е.Н. Лазаревой [10], В.И. Меденникова [11], И.А. Петерс [12], А.В. Половян [13], В.И. Тарасова [14], Е.И. Тимофеева [15], В.Е. Торикова [16], Л.В. Турко [17], И.Г. Ушачева [18], и др. В своих исследованиях указанные ученые научно обосновывают исследовательские подходы к решению задач цифрового развития сельского хозяйства и оценке перспектив массового внедрения цифровых технологий во все производственные процессы агропромышленного комплекса, учитывая, что разработки в данном направлении продолжают находиться в стадии выработки рациональных подходов к стратегическому развитию отрасли. Необходимо отметить, что вопросы цифрового моделирования отдельно данными учеными не рассматривались.

Несмотря на значительное число научных работ, практически неисследованными остаются проблемы, связанные с разработкой ключевых моделей развития цифровизации агропромышленного комплекса с адаптацией под региональную практику.

Целью данного исследования является разработка моделей развития цифровизации агропромышленного комплекса Республики Коми.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать модели цифровизации для агропромышленного комплекса Республики Коми;
- построить ADL-модели развития цифровизации сельского хозяйства в Республике Коми;
- описать модель формирования результатов использования цифровых бизнес – процессов, основанных на применении технологий интернета вещей, через систематизацию факторов, определяющих специфику инициации процессов цифровой трансформации сельского хозяйства.

Теоретическое значение проведенного исследования заключается в актуализации и развитии теоретического и методологического обеспечения цифровизации сельскохозяйственных организаций за счет комплексного внедрения моделей и их проактивного развития в условиях меняющейся институциональной среды. Прикладное значение проведенного исследования состоит в разработке практических рекомендаций по формированию моделей развития цифровизации агропромышленного комплекса Республики Коми на основе применения авторской методики.

Материалы и методы исследования. Теоретической основой исследования послужили анализ и обобщение трудов отечественных и зарубежных авторов в области системной цифровизации агропромышленного комплекса. В качестве аналитического материала были использованы официальные данные Федеральных и региональных статистических органов, статистические данные сельскохозяйственных организаций республики Коми. В процессе исследования был использован широкий спектр методов, основными из которых стали методы обобщения и синтеза, абстрактно-логический, статистического, динамического и структурного анализа, графического и табличного представления результатов. Метод обобщения и синтеза создал возможность аккумулировать весь спектр полученных научных результатов в единый концепт, отражающий актуальность, направления, цели, задачи развития цифровых моделей агропромышленного комплекса. Метод статистического, динамического и структурного анализа позволил построить ADL-модели развития цифровизации сельского хозяйства в Республике Коми. Визуализировать полученные результаты исследований позволил метод графического и табличного представления. Абстрактно-логический метод позволил сделать выводы по результатам проведенного исследования. Этапы решения представленной научной проблемы: 1. Разработка авторской методологии формирования перспективных моделей развития цифровизации агропромышленного комплекса на основе построения ADL-моделей развития цифровизации сельского хозяйства и использова-

ния цифровых бизнес – процессов для моделирования развития цифровизации, основанных на применении технологий интернета вещей; 2. Апробация данной методологии была проведена на конкретных муниципальных районах Республики Коми.

Результаты

Для формирования соответствующих перспективных моделей развития цифровизации агропромышленного комплекса в Республике Коми предлагается следующая авторская методология, состоящий из таких этапов как:

1 Этап. Построение ADL-моделей развития цифровизации сельского хозяйства в Республике Коми (апробация на конкретных муниципальных районах). Данный этап выполнен на примере отрасли растениеводства, для ее построения были отобраны следующие показатели для формирования цифрового вектора развития отдельных муниципальных районов: Княжпогостский, Сыктывдинский, Сысольский (перспективных с точки зрения развития растениеводства). Распределение с учетом эндогенности и экзогенности представлено в табл. 1.

Таблица 1. Группировка эндогенных и экзогенных переменных для построения ADL-моделей развития цифровизации сельского хозяйства в Республике Коми (для муниципальных районов: Княжпогостский, Сыктывдинский, Сысольский)
Table 1. Grouping of endogenous and exogenous variables for building ADL models for the development of digitalization of agriculture in the Komi Republic (for municipal districts: Knyazhpogostsky, Syktyvdinsky, Sysolsky)

Обозначение	Показатели	Муниципальный район
Эндогенные переменные:		
Y 1	Производство картофеля, тыс. тонн	Княжпогостский
Y 2		Сыктывдинский
Y 3		Сысольский
Y 4	Производство овощей, тыс. тонн	Княжпогостский
Y 5		Сыктывдинский
Y 6		Сысольский
Y 7	Производство зерновых культур, тыс. тонн	Княжпогостский
Y 8		Сыктывдинский
Y 9		Сысольский
Экзогенные переменные:		
X 1	Посевная площадь картофеля, тыс. га	Княжпогостский
X 2		Сыктывдинский
X 3		Сысольский
X 4	Урожайность картофеля, ц. на га	Княжпогостский
X 5		Сыктывдинский
X 6		Сысольский
X 7	Посевная площадь овощей, тыс. га	Княжпогостский
X 8		Сыктывдинский
X 9		Сысольский
X 10	Урожайность овощей, ц. на га	Княжпогостский
X 11		Сыктывдинский
X 12		Сысольский

Окончание таблицы 1

X 13	Посевная площадь зерновых культур, тыс. га	Княжпогостский
X 14		Сыктывдинский
X 15		Сысольский
X 16	Урожайность зерновых культур, ц. на га	Княжпогостский
X 17		Сыктывдинский
X 18		Сысольский

Данное количество показателей дает возможность проведение теста на единичный корень, то есть осуществим проверку на стационарность всех показателей. В результате проведенного расширенного теста Дики-Фуллера для переменной Y 1 (производство картофеля в Княжпогостском районе, тыс. тонн) были получены следующие результаты: р-значение 0,0009922; коэффициент автокорреляции 1-го порядка для ϵ : $-0,007$. Поскольку р-значение 0,0009922 ниже 0,05 (проверяем нулевую гипотезу на уровне 5%), значит, принимаем альтернативную гипотезу о стационарности ряда. В результате проведенного расширенного теста Дики-Фуллера для переменной X 1 (посевная площадь картофеля в Княжпогостском районе, тыс. га) были получены следующие результаты: р-значение 0,8297; коэффициент автокорреляции 1-го порядка для ϵ : $-0,183$. Поскольку р-значение выше 0,05 (проверяем нулевую гипотезу на уровне 5%), значит, принимаем нулевую гипотезу о не стационарности ряда и порядке интегрируемости $d = 1$. Интегрируем ряд, проводим тест заново и получаем следующие результаты: р-значение 0,008463; коэффициент автокорреляции 1-го порядка для ϵ : 0,040 лаг для разностей: $F(4, 8) = 1,901 [0,2037]$. Теперь ряд стационарен р-значение меньше 0,05 (проверяем нулевую гипотезу на уровне 5%) и принимаем альтернативную гипотезу о стационарности ряда. И так по аналогии все оставшиеся показатели проверяем на единичный корень, обобщенные результаты представим в табл. 2.

Таблица 2. Результаты применения теста Дики-Фуллера
Table 2. Results of applying the Dickey-Fuller test

Картофель		
Княжпогостский район	Сыктывдинский район	Сысольский район
Y 1	d_Y 2	d_d Y 3
d_X 1	d_X 2	d_X 3
d_X 4	X 5	d_X 6
Овощи		
Княжпогостский район	Сыктывдинский район	Сысольский район
d_Y 4	d_d Y 5	d_Y 6
d_d X 7	d_X 8	d_X 9
X 10	X 11	d_X 12
Зерновые культуры		
Княжпогостский	Сыктывдинский	Сысольский
d_Y 7	Y 8	d_Y 9
d_X 13	X 14	d_X 15
d_X 16	d_X 17	d_X 18

Далее необходимо оценить авторегрессионный процесс (для всех эндогенных переменных для этого будем применять информационный критерий, чтобы выбрать подходящее число лагов (задержек/временных сдвигов – lags). Снова приведем пример решения в табл. 3, а далее отобразим в табл. 4 результаты по всем эндогенным переменным.

Таблица 3. Зависимая переменная: Y 1 (Производство картофеля в Княжпогостском муниципальном районе, тыс. тонн.)
Table 3. Dependent variable: Y 1 (Production of potatoes in the Knyazhpogost municipal district, thousand tons.)

	Коэффициент	Ст. ошибка	t-статистика	P-значение	
const	157,11	2,272	69,15	< 0,0001	**
u(-1)	-0,14	0,224	-0,6125	0,5516	
u(-2)	-0,38	0,242	-1,5550	0,1459	
u(-3)	-0,08871	0,214082	-0,4144	0,6859	
u(-4)	-0,41923	0,220598	-1,9004	0,0817	

Значима константа (на уровне значимости 0,01 – ***) и лаговая переменная 4-го лага (на уровне значимости 0,1 – *). Подобным образом был оценен авторегрессионный процесс для всех оставшихся эндогенных переменных. Результаты выведем в общую табл. 4, где коэффициенты лагов в каждой модели будут значимы на уровне 0,01 (1%) – ***, на уровне 0,05 (5%) – ** и на уровне 0,1 (10%) – *.

Таблица 4. Сводная таблица по подходящим лагам эндогенных переменных
Table 4. Summary table of appropriate lags for endogenous variables

Переменные	Лаги	Лаги (2)
Y 1	4*	—
d_Y 2	1**	1**
d_d_Y 3	1**	—
d_Y 4	—	—
d_d_Y 5	1***,2**,3***	1***,2**,3***
d_Y 6	3***,4*	3*
d_Y 7	1*,2*	1**,2**
Y 8	1***,4**	1***,4***
d_Y 9	3*	const*

На основе полученных результатов были построены многофакторные модели. В результате значимыми оказались лишь следующие модели:

– Y 1 (Производство картофеля в Княжпогостском районе) с экзогенными d_X1 (посевная площадь картофеля в Княжпогостском районе) и d_d_X 7 (Посевная площадь овощей в Княжпогостском районе). Результаты моделирования представлены в табл. 5.

– d_Y 2 (Производство картофеля в Сыктывдинском районе) с одной экзогенной X 14 (Посевная площадь зерна в Сыктывдинском районе).

– d_Y 4 (Производство овощей в Княжпогостском районе) с одной экзогенной X 10 (Урожайность овощей в Княжпогостском районе).

– d_d_Y 5 (Производство овощей в Сыктывдинском районе) с четырьмя экзогенными переменными: d_X 2 (Посевная площадь картофеля в Сыктывдинском районе), d_X8 (Посевная площадь овощей в Сыктывдинском районе), X 11 (Урожайность овощей в Сыктывдинском районе) и X 14 (Посевная площадь зерновых культур в Сыктывдинском районе).

– Y 8 (Производство зерновых культур в Сыктывдинском районе) с одной экзогенной X 14 (Посевная площадь зерновых культур в Сыктывдинском районе).

– d_Y 33 (Производство зерновых культур в Сысольском районе) с одной экзогенной переменной d_X313 (Урожайность зерна в Сысольском районе).

Таблица 5. Многофакторная модель ADL для Y 1
Table 5. Multivariate ADL model for Y 1

	Коэффициент	Ст. ошибка	t-статистика	P-значение	
const	169,28	0,008	2,258e + 00	< 0,0001	***
d_X 1	9,37	0,009	1007	0,0006	***
d_X 1_1	13,4	0,012	1161	0,0005	***
d_X 1_2	7,1	0,013	545,0	0,0012	***
d_d_X 7	-10,3	0,037	-282,0	0,0023	***
d_d_X 7 1_1	-15,2	0,030	-512,0	0,0012	***
d_d_X 7 1_2	-24,5	0,036	-673,8	0,0009	***
d_d_X 7 1_3	-7,53	0,032	-236,9	0,0027	***
d_d_X 7 1_4	-17,38	0,019	-934,3	0,0007	***

Таким образом, коэффициенты модели значимы. По аналогии строятся многофакторные и другие ADL модели. Как показывают расчеты все коэффициенты этих моделей также значимы.

Следующим этапом проведем тест Гренджера, результаты представим в табл. 6. Он выявляет – является ли один ряд «причиной» другого. Нулевая гипотеза – один ряд не является «причиной» другого. Альтернативная гипотеза – один ряд является «причиной» другого.

Таблица 6. Результаты теста Гренджера
Table 6. Results of the Granger test

Показатели	Значения показателей
Среднее зависимой переменной	158,83
Среднее квадратичное отклонение зависимой переменной	26,36
Статистическое отклонение зависимой переменной	26,36
Сумма квадратичных остатков	10198,02
Статистическая ошибка модели	24,49
R-квадрат	0,18
Испр. R-квадрат	0,14
Лог. Правдоподобие	86,67
Крит. Акаике	177,34
Крит. Шварц	179,23
Крит. Хеннана-Куинна	177,66
Параметр rho	-0,07
Стат. Дарбина-Вотсона	2,06

Таким образом, остатки являются стационарными, поскольку «асимпт. p- значение» = 0.001378 < 0.05, значит, принимаем альтернативную гипотезу: исходные временные ряды – коинтегрированы, один является «следствием» другого. Остальные расчеты были сделаны по аналогии. Остатки стационарны, так как «асимпт. p-значение» < 0.05, значит, принимаем альтернативную гипотезу: исходные временные ряды – коинтегрированы, один является «следствием» другого.

Далее необходимо сделать отбор качественных моделей, имеющих наименьшие статистические ошибки.

Отобранными моделями с наименьшими по значению ошибками являются следующие ADL-модели:

- Y1 с экзогенными d_X1 и d_d_X7 .
- d_d_Y5 с четырьмя экзогенными переменными: d_X2 , d_X8 , $X11$ и $X14$.
- Y8 с лагами экзогенной переменной $X14$.
- d_Y9 с экзогенной переменной d_X18 , d_X15 и d_X14 .

Теперь среди отобранных ADL-моделей необходимо определить комбинации с разными вариантами лагов эндогенной переменной для определения варианта моделей с наименьшим по значению набором статистических ошибок. Для наглядности полученных данных приведем сводные таблицы по каждой ADL-модели. Выбор среди моделей ADL Y1 представлены в табл. 7.

Таблица 7. Различные варианты Y1 ADL-модели
Table 7. Different versions of the Y1 ADL model

Ошибки	Y1 ADL-модели			
	Y1-1	Y1-2	Y1-3	Y1-4
ME	1,71E-14	5,40E-14	5,03E-14	5,47E-14
RMSE	0,006	1,626	6,190	1,74E + 01
MAE	0,005	1,124	-0,133	1,36E + 01
MPE	-4,09E-05	-0,026	3,876	-1,03E + 00
MAPE	0,003	0,750	0,234	8,40E + 00

Таким образом, все четыре ADL модели эндогенной Y1 имеют благоприятно низкие значения по статистическим ошибкам. Наименьшее значение по всем статистическим ошибкам имеет вариант ADL – Y1-1 ($d_X1 - 0^{***}, 1^{***}, 2^{**}$) и ($d_d_X7 - 0^{***}, 1^{**}, 2^{**}, 3^{***}, 4^{***}$). Положительный знак величины Средней ошибки ME указывает на то, что прогноз будет занижен, однако показатель средней ошибки для Y11-1 показывает крайне низкую величину отклонения: 1,71E-14. Значения ошибок RMSE и MAE также крайне незначительные: 0,006326 и 0,005111 соответственно. Значение ошибки MPE, в отличие от Средней ошибки, показало отрицательное значение: -4,09E-05, то есть прогноз переоценивающий (свойственно систематическое повышение прогнозируемого индикатора по сравнению с исходными данными). Самая точная среди статистических ошибок в данном исследовании – средняя абсолютная процентная ошибка MAPE. Значение модели Y1-1 по MAPE составило 0,003 %, что согласно таблице точности является очень высоким по точности для прогноза.

Выбор среди моделей ADL d_d_Y5 представлен в табл. 8.

Таблица 8. Различные варианты d_d_Y5 ADL-модели
Table 8. Different versions of the d_d_Y5 ADL model

Ошибки	d_d_Y5 ADL-модели			
	d_d_Y5-1	d_d_Y5-2	d_d_Y5-2	d_d_Y5-4
ME	2,99E-15	-1,47E-15	3,41E-02	2,12E-15
RMSE	1,25E-07	0,151	1,462	1,07E-05
MAE	1,05E-07	0,129	1,162	8,71E-06
MPE	-2,66E-06	-0,169	-5,820	2,65E-05
MAPE	5,1944e-006	8,12	56,768	0,0004702

В целом ADL модели эндогенной d_d_Y5 имеют допустимо низкие значения статистических ошибок за исключением модели $d_d_Y 5-2$ по которой значение MAPE равняется 56,768 %, что означает неудовлетворительную точность для прогноза. Поэтому данная модель не рассматривалась при сравнении. Наименьшее значение по всем статистическим ошибкам имеет вариант ADL – $d_d_Y 5-4$ ($u-1^{***}$, $u-3^{***}$; $d_X 2 - 1^{***}, 2^{***}, 3^{***}$; $d_X 8-1^{***}$, $X 11-1^{**}, 2^{***}, 3^{***}$; $X3 14 - 1^{***}, 2^{**}, 3^{***}$) Положительный знак величины Средней ошибки ME свидетельствует о том, что потенциальный прогноз будет считаться заниженным, однако показатель средней ошибки для $d_d_Y 5-4$ показывает крайне низкую величину отклонения: $2,12E-15$. Значения ошибок RMSE и MAE равняется $1,07E-05$ и $8,71E-06$, что практически исключает наличие ошибок. Значение ошибки MPE подтвердило вывод по Средней ошибке, что потенциальный прогноз будет являться недооценивающим (характерно занижение показателя). Средняя абсолютная процентная ошибка MAPE (0,0005 %) указывает на очень высокую точность модели для прогноза. Выбор среди моделей ADL Y 8 представлен в табл. 9.

Таблица 9. Различные варианты Y 8 ADL-модели
Table 9. Different versions of the Y 8 model

Ошибки	Y 8 ADL-модели			
	Y 8-1	Y 8-2	Y 8-3	Y 8-4
ME	-3,8164e-017	0,006	-0,006	-0,012
RMSE	0,014	0,106	0,018	0,056
MAE	0,011	0,078	0,014	0,049
MPE	0,094	-7,343	-6,886	15,580
MAPE	7,362	24,521	11,241	22,090

Таким образом видно, что все четыре ADL-модели эндогенной Y 8 имеет благоприятно низкие значения по статистическим ошибкам. Можно отметить, что модели Y 8-2 и Y 8-4 по MAPE имеет удовлетворительную точность прогноза в отличие от других. Наименьшее значение по всем статистическим ошибкам имеет ADL-модель Y 8-1 вариант u_1^{***} , $u-4^{***}$, $X 14-0^{***}$, $X 14_1^{***}$, $X 14_2^{***}$, $X 14_3^{**}$, $X14_4^{***}$. Отрицательный знак величины Средней ошибки ME свидетельствует о том, что потенциальный прогноз будет считаться завышенным, однако показатель средней ошибки для Y33-1 показывает низкую величину отклонения: $-3,8164e-017$. Значения ошибок RMSE и MAE равняется 0,014523 и 0,010601, что практически исключает наличие ошибок. Значение ошибки MPE, в отличие от Средней ошибки, показало положительное значение: 0,094462, то есть прогноз недооценивающий (характерно систематическое занижение прогнозируемого показателя по сравнению с фактическими значениями). Средняя абсолютная процентная ошибка MAPE (7,36 %) указывает на очень высокую точность модели для прогноза.

Выбор среди моделей ADL d_Y9 представлен в табл. 10.

В большинстве случаев ADL модели эндогенной $d_Y 9$ имеют допустимо низкие значения статистических ошибок за исключением модели $d_Y 9-1$ по которой значение MAPE равняется 58,99 %, что означает неудовлетворительную точность для прогноза. MAPE для $d_Y 9-4$ равняется 15,937, что говорит о высокой точности. Однако остальные модели имеют очень высокую точность по этому параметру. Среди них и было произведено сравнение. Наименьшее значение по всем статистическим ошибкам имеет вариант ADL – $d_Y 9-2$ ($u-2^{***}$, $u-3^{***}$, $d_X 18^{***}$, $d_X18_2^{***}$, $d_X 15^{***}$, $d_X 15_2^{***}$, $d_X 14^{***}$, $d_X 14_1^{**}$, $d_X 14_2^{***}$). Положительный знак величины Средней ошибки ME свидетельствует о том, что потенциальный прогноз будет считаться заниженным, однако показатель средней ошибки для d_Y9-2 показывает крайне низкую величину отклонения: 0,017066. Значения ошибок RMSE и MAE равняется 0,90141 и 0,75102, что

практически исключает наличие ошибок. Значение ошибки MPE, в отличие от Средней ошибки, показало отрицательное значение: -2.043 , то есть прогноз переоценивающий (свойственно систематическое повышение прогнозируемого индикатора по сравнению с исходными данными). Самая точная среди статистических ошибок в данном исследовании – Средняя абсолютная процентная ошибка MAPE. Значение модели d_Y 9-2 по MAPE составило 7,05 %, что согласно таблице точности является очень высоким по точности для прогноза.

Таблица 10. Различные варианты d_Y9 ADL-модели
Table 10. Different versions of the d_Y9 model

Ошибки	d_Y9 ADL-модели			
	d_Y9-1	d_Y9-2	d_Y9-3	d_Y9-4
ME	0,708	0,017	0,009	0,229
RMSE	8,575	0,901	1,588	1,962
MAE	6,851	0,751	1,309	1,660
MPE	7,367	-2,043	1,474	4,500
MAPE	58,990	7,054	11,441	15,937

Таблица 11. Итоговая таблица по выбранным ADL-моделям
Table 11. Summary table for selected ADL models

Ошибки	ADL-модели			
	Y 1-1	d_d_Y 5-4	Y 8-1	d_Y 9-2
ME	1,71E-14	2,12E-15	-3,8164e-017	0,017066
RMSE	0,006	1,07E-05	0,014523	0,90141
MAE	0,005	8,71E-06	0,010601	0,75102
MPE	-4,09E-05	2,65E-05	0,094462	-2,043
MAPE	0,003	0,0004	7,3618	7,0535

Таким образом, первый этап авторской методологии подтверждает, что главным операционным свойством построения моделей цифровизации агропромышленного комплекса Республики Коми является потенциал системы, он характеризует соответствие результатов между собой и с требованиями, при условиях среды, которые постоянно меняются. Полученные ADL-модели, как изменения, которые возможны, так и дальнейшие эффекты этих изменений, которые проявляются при усовершенствовании функционирования и достижении постоянно изменяющихся целей в результате функционирования.

За счет использования концептуальных, а затем – соответствующих им математических моделей и методов теории потенциала становится возможным решать практические задачи исследования операционных, организационных, динамических возможностей, операционных свойств их использования, операционных свойств использования цифровых технологий, как математические задачи, например – задачи исследования операций и математического моделирования. Это дает возможность решать соответствующие практические задачи научно обоснованно, используя прогнозные математические интегративные модели для решения практических задач. В ходе реализации первого этапа авторской методологии в части построения ADL-моделей развития цифровизации сельского хозяйства были получены следующие результаты, позволяющие адаптировать математические модели под развитие цифровизации в регионе, итоговые результаты представлены в табл. 12.

Таблица 12. ADL-модели развития цифровизации сельского хозяйства отдельных муниципальных районов республики Коми
Table 12. ADL-models for the development of digitalization of agriculture in certain municipal districts of the Komi Republic

Виды моделей развития	Математические модели отдельных муниципальных районов: Княжпогостский, Сыктывдинский, Сысольский (перспективных с точки зрения развития растениеводства)
Модель с низким уровнем цифровизации	Итоговое уравнение ADL Y5 после математических преобразований: $y_t^5 = 3,23y_{t-1}^2 - 3,97y_{t-2}^2 + 2,55y_{t-2}^2 + 2,55y_{t-3}^2 - 1,11y_{t-4}^2 - 0,30y_{t-5}^2 + 16,16 + 0,06x_{t-1}^2 + 2,13x_{t-2}^2 - 4,54x_{t-3}^2 + 2,35x_{t-4}^2 - 0,12x_{t-1}^2 + 0,10x_{t-2}^2 - 0,041x_{t-3}^2 + 11,64x_{t-1}^{14} + 9,51x_{t-2}^{14} - 16,55x_{t-3}^{14}$
Модель с динамичным уровнем цифровизации	Итоговое уравнение ADL Y8 после математических преобразований: $y_t^8 = -0,08 - 0,29y_{t-1}^8 + 0,45y_{t-4}^8 + 1,86x_t^{14} - 0,42x_{t-1}^{14} + 0,55x_{t-2}^{14} - 0,23x_{t-3}^{14} + 0,53x_{t-4}^{14}$
Модель пространственной цифровизации	Итоговое уравнение ADL Y9 после математических преобразований: $y_t^9 = y_{t-1}^9 + 0,30y_{t-2}^9 - 0,8y_{t-3}^9 + 0,5y_{t-4}^9 + 3,18x_t^9 + 1,09x_{t-2}^9 - 1,09x_{t-2}^9 - 1,09x_{t-3}^9 + 1,68x_t^9 - 1,68x_{t-1}^9 - 1,27x_{t-2}^9 - 1,27x_{t-3}^9 + 0,21x_{t-1}^{14} - 0,07x_{t-2}^{14}$
Модель системной цифровизации	Итоговое уравнение ADL Y1 после математических преобразований: $y_t^1 = 169,28 - 0,005y_{t-4}^1 + 9,37x_{t-1}^1 + 4,08x_{t-1}^1 - 6,29x_{t-2}^1 - 7,16x_{t-3}^1 - 10,34x_t^2 + 5,48x_{t-1}^1 - 4,51x_{t-2}^2 + 26,41x_{t-3}^2 - 26,89x_{t-4}^2 + 27,23x_{t-5}^2 - 17,83x_{t-6}^2$

Использование таких моделей дает возможность перейти к автоматизации решения указанных практических задач на основе использования современных цифровых технологий.

2 Этап. Формирование результатов использования цифровых бизнес-процессов для моделирования цифровизации агропромышленного комплекса, основанных на применении технологий интернета вещей (на материалах республики Коми)

Главным операционным свойством представленных на первом этапе математических моделей является потенциал системы цифровизации сельского хозяйства, он характеризует соответствие результатов между собой и с требованиями, при условиях среды, которые постоянно меняются. Он описывает, как изменения, которые возможны, так и дальнейшие эффекты этих изменений, которые проявляются при усовершенствовании функционирования и достижении постоянно изменяющихся целей. Потенциал описывает успешность действий, сформированных операционными возможностями. Построение указанных моделей реализуется на основе методологизации проблемы исследований. Она реализуется за счет концептов и принципов методологизации, задания требований к моделям и методам моделирования в задачах исследования, описания методов моделирования и методов решения. Модель реализации функционирования среды представляется в виде возможных последовательностей действий и состояний среды сложных цифровых моделей, в нашем исследовании применяется технологии интернета вещей. Она может быть представлена, как дерево состояний и действий среды. Действия среды могут не задаваться описаниями или описания могут быть неизвестны. В дереве реализации цифровых технологий фиксируется ветка – модель одной из возможных реализаций и для каждой такой модели стро-

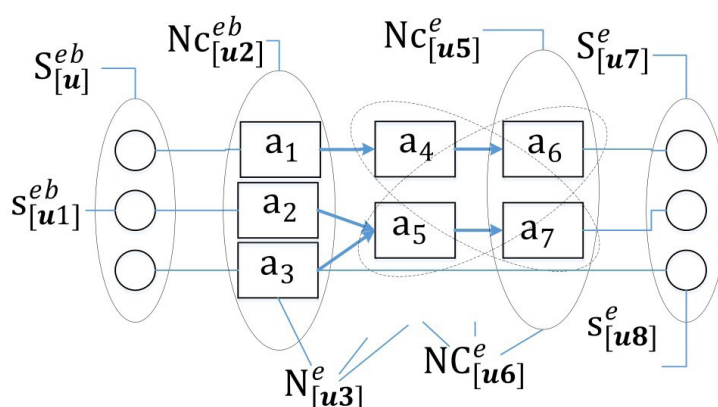


Рис. 1. Графовая модель комплексов действий, состояний и переходов моделирования развития цифровизации агропромышленного комплекса Республика Коми, основанных на применении технологий интернета вещей
 Fig. 1. Graph model of action complexes, states and transitions for modeling the development of digitalization of the agro-industrial complex of the Republic of Komi, based on the use of Internet of things technologies

ится модель функционирования при условии проявления реализации цифровых технологий. Эта модель – модель последовательностей состояний и операций, как и модель последовательностей состояний и действий на границе среды, моделируется деревом. Наличие такой последовательности моделей обеспечивается за счет принципа сериализации моделей. При решении задачи цифровизации агропромышленного комплекса этот принцип используется следующим образом. При фиксированном значении переменной (одном из возможных) и отбрасывании остальных возможных значений этой же переменной полученная теоретико – графовая модель такова, что выполняется ранее введенное условие для оценивания показателей на основе обхода модели на основе применения технологии интернет вещей.

Примеры строящихся графовых моделей, описывающих состояния цифровых бизнес-процессов агропромышленного комплекса Республика Коми, основанных на применении технологий интернета вещей и переходы между ними в разных условиях среды показаны на рис. 1–3.

Проанализировав представленные рисунки мы видим, что применение технологий интернета вещей для представленных на первом этапе методологии моделей цифровизации агропромышленного комплекса Республика Коми дает возможность сформировать дерево комплексных состояний и переходов между ними. Поскольку значения целевой функции рассчитываются на теоретико-графовых моделях, число возможных последовательностей состояний счетное и возможные значения переменных – счетное множество, то для решения указанных задач предлагается использовать методы дискретной оптимизации на графах. При построении графовых моделей применялись следующие переменные:

- s^e – множество среды (переходы);
- s^b – множество среды (действия);
- s^s – множество среды (состояний);
- T_r – длительность перехода в модели в зависимости от применения технологии интернет вещей;
- $a_1, a_2, \dots a_n$ – технологические операции;
- N – цель соответствующих действий по цифровизации на основе применения технологии интернет вещей;
- u – модели развития цифровизации сельского хозяйства (модель с низким уровнем цифровизации; модель с динамичным уровнем цифровизации; модель пространственной цифровизации; модель системной цифровизации).

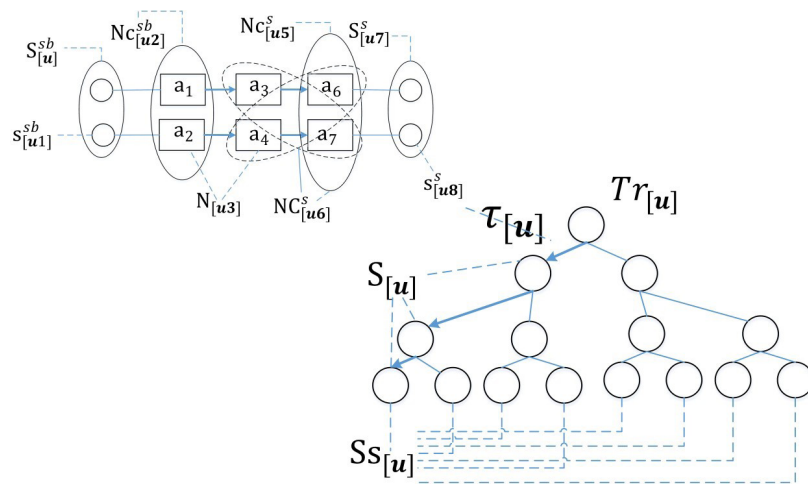


Рис. 2. Формирование дерева комплексных состояний и переходов между ними моделирования развития цифровизации агропромышленного комплекса Республика Коми, основанных на применении технологий интернет вещей
 Fig. 2. Formation of a tree of complex states and transitions between them for modeling the development of digitalization of the agro-industrial complex of the Republic of Коми, based on the use of Internet of things technologies

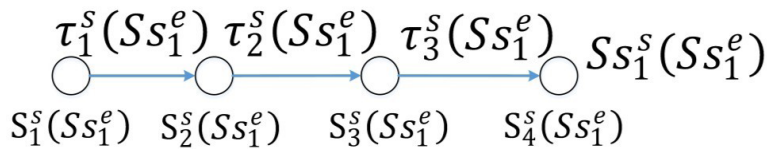


Рис. 3. Ветвь дерева комплексных состояний и переходов между ними
 Fig. 3. Branch tree of complex states and transitions between them

В результате, построенная на основе базовой модели операционного примитива комплексная цифровая модель функционирования агропромышленного комплекса на границе изменяющейся цифровой среды в условиях применения технологий интернета вещей позволяет перейти к расчету показателей операционных свойств и прежде всего, потенциала цифровой системы в условиях развития всей отрасли. Будем считать, что наш бизнес – процесс развития агропромышленного комплекса является деревом, ветки этого дерева являются множествами бизнес – процессов, которые протекают в различных, изменяющихся условиях и цифровых трансформациях. Каждый из этих бизнес – процессов практически копирует предыдущий с изменением минимальных условий, принципиальным функционал для технологий интернета вещей. Мы проводим различные операции, у нас есть стоимость, длительность и др. В данном случае, у нас есть внутренние функции, которые считают общих эффект из частных. И особенность в том, что они считаются, как случайные величины.

У этих законов распределения есть числа, которые их характеризуют. В нашем случае, мы используем Бетта закон распределения. Его особенность в том, что используется двухпараметрическое задание случайных величин с помощью левой и правой границы. Вероятностей совпадения для каждой ветви дерева, получается много, мы их складываем и умножаем, в результате чего получаем показатель. Этим показателем является вероятность комплексно описанного события, состоящего в том, что как бы среда не менялась, какие бы не выполнялись информационные действия, какую бы не давали информацию и как бы она не использовалась, какие бы пути развития ситуации не были, требования будут выполнены, цель будет достигнута. Все эти эффекты будут

сравниваться с требованиями и как результат, будет получен потенциал использования внедрения цифрового бизнес – процесса в развитие агропромышленного комплекса с использованием технологий интернета вещей.

Берется сеть операций, она может прерываться и начинать новое функционирование. Они зависят от использованной информационной технологии, в нашем случае – интернет вещей. Считается показатель потенциала системы и становится возможным оценить и качество этой информационной технологии. Для начала, мы создаем элементы AXOR (характеристика способность действия), PXOR – вид отношения между фрагментами модели, описывающими результаты функционирования системы в целом и их соответствие требованиям к результатам, проверяемым при контролирующем действии.

Обсуждение

Особенность создаваемых моделей в том, что они описывают цифровые возможности в последовательностях состояний и переходов при функционировании системы. Исследования основных трендов трансформации рынка и вектора его развития в целом, имеют высокую степень актуальности. Необходимо согласиться с позицией авторов, что стремительно возрастающая роль информации и цифровых технологий в сельском хозяйстве приведет к кардинальным его изменениям в условиях трансформационных преобразований [26]. Колоссальные изменения затронут и базовые аспекты экономики, также нужно отметить, что роль сельского хозяйства, все также актуально и растет. Одним из интересных трендов, отмеченных в проведенных исследованиях, является взаимодействие виртуальных и реальных объектов, одновременно, в реальном времени [27, 28].

Безусловны мы разделяем позицию авторов, что цифровизации процессов управления на предприятиях АПК позволяет обеспечить высокую конкурентоспособность [29]. Потенциал, формируемый на основе реструктуризации затрат, способствует интенсификации развития цифровых технологий.

Мы согласны с авторами, однако проведенное исследование показало, что инструментом, задающим фокус преобразований в сельском хозяйстве, являются модели развития цифровизации на региональном уровне. Необходимо усиливать в исследованиях взаимосвязь стратегии цифровой трансформации предприятия АПК с его бизнес-моделью, бизнес-архитектурой и информационной архитектурой. В качестве условия, обеспечивающего необходимую гибкость предприятия в цифровой среде, выделен модульный принцип построения структур и систем управления. Необходимо отметить, что существует множество подходов к описанию предприятия АПК [29], однако мы считаем, что в условиях цифровой экономики и глобализации экономических процессов более целесообразна разработанная системная модель, как совокупность взаимосвязанных элементов. Состояния и переходы отражают связи между характеристиками системы и среды во времени и причинно – следственные связи. Сначала такие зависимости передаются с использованием концептуальных моделей, затем – алгебраических, параметрических, функциональных и программных. Полученные концептуальные модели описывают (имитируют) реализацию последовательностей возможных состояний и переходов при функционировании системы в изменяющихся условиях. В метамоделях, кроме описаний переходов между моделями, описываются возможные изменения среды и последующие возможные деформации функционирования системы. Полученная в результате реализации модели имитируют последовательности состояний, затем – их характеристики, затем – функциональные связи между состояниями при функционировании и наконец, имитирует смену состояний за счет вычислений функциональных зависимостей.

Для порождения такой концепции вводятся концепты и принципы цифровизации, а затем предлагается концептуальная схема формирования эффектов цифровизации при использовании (цифровых) информационных операций. Элементы этой концепции – концепты и принципы,



позволяющие задать метамодели формирования результатов действий разного вида, в том числе – информационных действий, переходных действий от одного функционирования к другому.

Необходимо отметить, что внедрение технологий интернета вещей в цифровые бизнес – процессы агропромышленного комплекса даст множество результатов (эффектов). Для улучшения его деятельности, оптимизации работ, на основе моделей и методов теории потенциала необходимо осуществить оценивание показателей результативности использования систем. Чем более велика вероятность соответствия показателя требованиям, которые мы устанавливаем, тем выше эффективность схемы работы данной архитектуры внедренных технологий. Таким образом, можно говорить об эффективной работе цифровых бизнес-процессов. С использованием макетов в среде Excel и HTML / JavaScript, появилась возможность автоматизировать оценивание с использованием программного кода, позволяющего рассчитать эффекты функционирования и затем, требуемые показатели потенциала систем, в которых используется технологии интернета вещей.

Таким образом, предлагаемые модели развития цифровизации агропромышленного комплекса Республики Коми на основе данной технологии будут строиться в соответствии с принципом порождения моделей. Принцип заключается в том, что при моделировании целесообразно порождать комплексные модели на основе базовых, функциональные модели на основе графовых алгебраических моделей и программные на основе функциональных. Базовыми для разработки моделей является модель операционного примитива. В ней описываются природные закономерности получения эффектов для возможной реализации действия, причем такого, что эта реализация не подлежит дальнейшему делению на действия и состояния, связанные причинно-следственными связями. В примитиве для одного начального состояния задан один способ действия. На основе таких преобразований со временем модели цифровизации могут трансформироваться, что является несомненным преимуществом в современных экономических реалиях.

Таким образом, каждая из моделей может реализовываться по определенному сценарию в зависимости от своих финансовых возможностей. Данная методология позволяет получить оценку степени цифровизации сельского хозяйства муниципального образования в Республике Коми в целом, на основе которой может разрабатываться стратегия дальнейшей цифровизации агропромышленного комплекса на уровне всей страны.

Заключение

В процессе исследования получены следующие результаты:

- разработаны модели цифровизации для агропромышленного комплекса Республики Коми;
- построены ADL-модели развития цифровизации сельского хозяйства в Республике Коми
- описана модель формирования результатов использования цифровых бизнес – процессов, основанных на применении технологии интернет вещей, через систематизацию факторов, определяющих специфику инициации процессов цифровой трансформации сельского хозяйства.

Внедрение цифровых технологий в агропромышленный комплекс позволит модернизировать отрасль, превратив ее в высокотехнологичный бизнес за счет снижения непроизводительных затрат и интенсивного роста производительности труда, что в свою очередь приведет к повышению эффективности деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей, конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции и привлечению инвестиций в агропромышленный комплекс.

Направление дальнейших исследований

Дальнейшие исследования необходимо направить на методы оценивания результативности использования цифровых моделей развития агропромышленного комплекса с последующей проработкой инструментов для формирования региональных кластеров с учетом реализации политики импортозамещения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Назарова Ю.Н. Цифровизация АПК как реальный бизнес-инструмент для отрасли // Научное обоснование стратегии развития АПК и сельских территорий в XXI веке. Материалы Национальной научно-практической конференции (г. Волгоград, 10 ноября 2020 г.). Волгоград, 2021. С. 257–263.
2. Пенкин А.А., Ивашев П.А. Современная цифровизация АПК в эпоху глобальных перемен // Развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровой экономики. Сборник научных трудов III Национальной научно-практической конференции (г. Самара, 29 апреля 2021 г.). Кинель, 2021. С. 140–142.
3. Винникова Л.Б. Цифровизация АПК в эпоху глобальных перемен // Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации. Материалы 72-й Международной научно-практической конференции (г. Рязань, 20 апреля 2021 г.). Рязань, 2021. С. 197–201.
4. Абазов И.М., Мехтиев Э.М. Цифровая трансформация сельского хозяйства для обеспечения технологического прорыва в АПК // Экономика и социум. 2021. № 6–2 (85). С. 730–733.
5. Агаркова О.С., Рябова Е.П. Сущность цифровой экономики // Молодежный вектор аграрной науки. Материалы 72-й национальной научно-практической конференции студентов и магистрантов. Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (г. Воронеж, 01 апреля – 31 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 372–378.
6. Астахова Т.Н., Колбанев М.О., Шамин А.А. Децентрализованная цифровая платформа сельского хозяйства // Вестник НГИЭИ. 2018. № 6 (85). С. 5–17.
7. Герасимова В.В. Системный подход к анализу сущности цифровой экономики // Экономика и предпринимательство. 2020. № 10 (123). С. 1405–1408.
8. Гретченко А.А. Сущность цифровой экономики, генезис понятия «цифровая экономика» и предпосылки ее формирования в России // Научно-аналитический журнал Наука и практика Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова. 2018. Т. 10. № 3 (31). С. 23–37.
9. Ерешко Ф.И., Меденников В.И., Кульба В.В. Сквозные технологии в АПК на основе цифровых стандартов // Мягкие измерения и вычисления. 2019. № 10 (23). С. 29–36.
10. Лазарева Е.Н. Цифровая экономика: сущность, структура и особенности развития в России // Экономический вектор. 2019. № 3 (18). С. 65–69.
11. Меденников В.И., Горбачев М.И., Муратова Л.Г., Сальников С.Г. Концепция развития информатизации АПК при переходе к цифровой экономике // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 5. С. 49–53.
12. Петерс И.А., Смотрова Е.Е. Цифровые технологии в сельском хозяйстве // Оптимизация сельскохозяйственного землепользования и усиление экспортного потенциала АПК на основе конвертных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции, проведенной в рамках Международного научно-практического форума, посвященного 75-летию Победы в Великой отечественной войне 1941–1945 гг. (г. Волгоград, 29–31 января 2020 г.). Волгоград, 2020. С. 225–229.
13. Половян А.В., Сеницына К.И. Цифровая экономика: понятие и сущность явления // Вести Автомобильно-дорожного института. 2020. № 3 (34). С. 96–124.
14. Тарасов В.И., Ершов В.В., Абрашкина Е.Д. Цифровая трансформация АПК: проблемы и перспективы // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 7. С. 24–26.
15. Тимофеев Е.И., Родионова И.А. Сущность и роль цифровой экономики в сельском хозяйстве // Проблемы и перспективы инновационного развития мирового сельского хозяйства. Материалы VII Международной научно-практической конференции (г. Саратов, 15 декабря 2021 г.). Саратов, 2021. С. 118–122.
16. Ториков В.Е., Погоньшев В.А., Погоньшева Д.А. Состояние и перспективы цифровой трансформации сельского хозяйства // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2022. Т. 14. № 2. С. 109–116.
17. Турко Л.В. Сущность феномена цифровой экономики, анализ определений понятия «цифровая экономика» // Российский экономический интернет-журнал. 2019. № 2. С. 88.
18. Ушачев И.Г., Колесников А.В. Развитие цифровых технологий в сельском хозяйстве как составная часть аграрной политики // АПК: экономика, управление. 2020. № 10. С. 4–16.
19. Зюкин Д.А., Латышева З.И., Скрипкина Е.В., Лисицына Ю.В. Роль цифровизации в развитии зернопродуктового подкомплекса АПК // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 1 (385). С. 94–98.



20. **Нафиков М.М., Нигматзянов А.Р., Насибуллин И.М.** Применение цифровых технологий и роботов в АПК // Основные направления кардинального роста эффективности АПК в условиях цифровизации. Сборник материалов Международной научно-практической конференции (г. Казань, 23–24 мая 2019 г.). Казань, 2019. С. 145–149.
21. **Пантелеева Т.А.** Современные цифровые технологии в секторе АПК: анализ и тенденции // Экономика и предпринимательство. 2020. № 11 (124). С. 172–175.
22. **Плотников А.В.** Роль цифровой экономики для агропромышленного комплекса // Московский экономический журнал. 2019. № 7. С. 196–203.
23. **Шкилев Н.П., Денисова Н.В., Митина И.В.** Цифровая трансформация в сельском хозяйстве: государственное регулирование в условиях постпандемии // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2022. № 9. С. 185–188.
24. Государственная поддержка Республики Коми [Электронный ресурс] // Информационный справочник о мерах и направлениях государственной поддержки агропромышленного комплекса Российской Федерации. – Режим доступа: <https://gp.specagro.ru/region/3994/2/31/12/2020> (дата обращения: 12.08.2022).
25. Барьеры в развитии цифровой экономики в субъектах Российской Федерации: Аналитический доклад [Электронный ресурс] // Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – 2019. – Режим доступа: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/25838.pdf> (дата обращения: 12.08.2022).
26. **Юдин А.А., Тарабукина Т.В., Андарьянов И.М.** Разработка сценария развития цифровизации АПК Республики Коми // Современные аспекты экономических исследований в агропромышленном комплексе. Теоретические основы и прикладные исследования в области селекции, семеноводства и биотехнологии сельскохозяйственных культур : Материалы научных семинаров (с международным участием) / Под редакцией А.А. Юдина. – Киров : Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2022. С. 29–47. DOI: 10.52376/978-5-907623-31-6_029
27. Digitalization in agriculture: problems of implementation / E.F. Amirova, N.K. Gavrilyeva, A.V. Grigoriev, I. V. Sorgutov // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2021. – Vol. 13. – No 6. – Pp. 144–155. – DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-6-144-XX
28. Agriculture in Developing Countries: Cultural Differences, Vectors of Sustainable Development, Digitalization, and International Experience / L.M. Lisina, A.T. Giyazov, A.L. M.M.Y. Oudah, Y.I. Dubova // Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes. – 2022. – No. 6/н. – Pp. 65–74. – DOI: 10.1007/978-981-16-8731-0_7
29. Arrowhead technology for digitalization and automation solution: Smart cities and smart agriculture / I. Marcu, A. Vulpe, A.M. Drăgulescu [et al.] // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – No 5. – P. 1464. – DOI: 10.3390/s20051464

REFERENCES

1. **Yu.N. Nazarova**, Tsifrovizatsiya APK kak realnyy biznes-instrument dlya otrasli // Nauchnoye obosnovaniye strategii razvitiya APK i selskikh territoriy v XXI veke. Materialy Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Volgograd, 10 noyabrya 2020 g.). Volgograd, 2021. S. 257–263.
2. **A.A. Penkin, P.A. Ivashov**, Sovremennaya tsifrovizatsiya APK v epokhu globalnykh peremen // Razvitiye agropromyshlennogo kompleksa v usloviyakh tsifrovoy ekonomiki. Sbornik nauchnykh trudov III Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Samara, 29 aprelya 2021 g.). Kinel, 2021. S. 140–142.
3. **L.B. Vinnikova**, Tsifrovizatsiya APK v epokhu globalnykh peremen // Perspektivnyye tekhnologii v sovremennom APK Rossii: traditsii i innovatsii. Materialy 72-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Ryazan, 20 aprelya 2021 g.). Ryazan, 2021. S. 197–201.
4. **I.M. Abazov, E.M. Mekhtiyev**, Tsifrovaya transformatsiya selskogo khozyaystva dlya obespecheniya tekhnologicheskogo proryva v APK // Ekonomika i sotsium. 2021. № 6–2 (85). S. 730–733.
5. **O.S. Agarkova, Ye.P. Ryabova**, Sushchnost tsifrovoy ekonomiki // Molodezhnyy vektor agrarnoy nauki. Materialy 72-y natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i magistrantov. Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni imperatora Petra I (g. Voronezh, 01 aprelya – 31 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. S. 372–378.

6. **T.N. Astakhova, M.O. Kolbanev, A.A. Shamin**, Detsentralizovannaya tsifrovaya platforma selskogo khozyaystva // Vestnik NGIEI. 2018. № 6 (85). S. 5–17.
7. **V.V. Gerasimova**, Sistemnyy podkhod k analizu sushchnosti tsifrovoy ekonomiki // Ekonomika i predprinimatelstvo. 2020. № 10 (123). S. 1405–1408.
8. **A.A. Gretchenko**, Sushchnost tsifrovoy ekonomiki, genezis ponyatiya «tsifrovaya ekonomika» i predposylki yeye formirovaniya v Rossii // Nauchno-analiticheskiy zhurnal Nauka i praktika Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta im. G.V. Plekhanova. 2018. T. 10. № 3 (31). S. 23–37.
9. **F.I. Yereshko, V.I. Medennikov, V.V. Kulba**, Skvoznyye tekhnologii v APK na osnove tsifrovyykh standartov // Myagkiye izmereniya i vychisleniya. 2019. № 10 (23). S. 29–36.
10. **Ye.N. Lazareva**, Tsifrovaya ekonomika: sushchnost, struktura i osobennosti razvitiya v Rossii // Ekonomicheskii vektor. 2019. № 3 (18). S. 65–69.
11. **V.I. Medennikov, M.I. Gorbachev, L.G. Muratova, S.G. Salnikov**, Kontseptsiya razvitiya informatizatsii APK pri perekhode k tsifrovoy ekonomike // Mezhdunarodnyy selskokhozyaystvennyy zhurnal. 2017. № 5. S. 49–53.
12. **I.A. Peters, Ye.Ye. Smotrova**, Tsifrovyye tekhnologii v selskom khozyaystve // Optimizatsiya selskokhozyaystvennogo zemlepolzovaniya i usileniye eksportnogo potentsiala APK na osnove konvertnykh tekhnologiy. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, provedennoy v ramkakh Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma, posvyashchennogo 75-letiyu Pobedy v Velikoy otechestvennoy voyne 1941–1945 gg. (g. Volgograd, 29–31 yanvarya 2020 g.). Volgograd, 2020. S. 225–229.
13. **A.V. Polovyan, K.I. Sinitsyna**, Tsifrovaya ekonomika: ponyatiye i sushchnost yavleniya // Vesti Avtomobilno-dorozhnogo instituta. 2020. № 3 (34). S. 96–124.
14. **V.I. Tarasov, V.V. Yershov, Ye.D. Abrashkina**, Tsifrovaya transformatsiya APK: problemy i perspektivy // Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2020. № 7. S. 24–26.
15. **Ye.I. Timofeyev, I.A. Rodionova**, Sushchnost i rol tsifrovoy ekonomiki v selskom khozyaystve // Problemy i perspektivy innovatsionnogo razvitiya mirovogo selskogo khozyaystva. Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Saratov, 15 dekabrya 2021 g.). Saratov, 2021. S. 118–122.
16. **V.Ye. Torikov, V.A. Pogonyshchev, D.A. Pogonyshcheva**, Sostoyaniye i perspektivy tsifrovoy transformatsii selskogo khozyaystva // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. 2022. T. 14. № 2. S. 109–116.
17. **L.V. Turko**, Sushchnost fenomena tsifrovoy ekonomiki, analiz opredeleniy ponyatiya «tsifrovaya ekonomika» // Rossiyskiy ekonomicheskii internet-zhurnal. 2019. № 2. S. 88.
18. **I.G. Ushachev, A.V. Kolesnikov**, Razvitiye tsifrovyykh tekhnologiy v selskom khozyaystve kak sostavnaya chast agrarnoy politiki // APK: ekonomika, upravleniye. 2020. № 10. S. 4–16.
19. **D.A. Zyukin, Z.I. Latysheva, Ye.V. Skripkina, Yu.V. Lisitsyna**, Rol tsifrovizatsii v razvitiy zernoproduktovogo podkompleksa APK //
20. **M.M. Nafikov, A.R. Nigmatzyanov, I.M. Nasibullin**, Primeneniye tsifrovyykh tekhnologiy i robotov v APK // Osnovnyye napravleniya kardinalnogo rosta effektivnosti APK v usloviyakh tsifrovizatsii. Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Kazan, 23–24 maya 2019 g.). Kazan, 2019. S. 145–149.
21. **T.A. Panteleyeva**, Sovremennyye tsifrovyye tekhnologii v sektore APK: analiz i tendentsii // Ekonomika i predprinimatelstvo. 2020. № 11 (124). S. 172–175.
22. **A.V. Plotnikov**, Rol tsifrovoy ekonomiki dlya agropromyshlennogo kompleksa // Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal. 2019. № 7. S. 196–203.
23. **N.P. Shkilev, N.V. Denisova, I.V. Mitina**, Tsifrovaya transformatsiya v selskom khozyaystve: gosudarstvennoye regulirovaniye v usloviyakh postpandemii // Konkurentosposobnost v globalnom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii. 2022. № 9. S. 185–188.
24. Gosudarstvennaya podderzhka Respubliki Komi [Elektronnyy resurs] // Informatsionnyy spravochnik o merakh i napravleniyakh gosudarstvennoy podderzhki agropromyshlennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii. – Rezhim dostupa: <https://gp.specagro.ru/region/3994/2/31/12/2020> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
25. Baryery v razvitiy tsifrovoy ekonomiki v subyektakh Rossiyskoy Federatsii: Analiticheskiy doklad [Elektronnyy resurs] // Analiticheskiy tsentr pri Pravitelstve Rossiyskoy Federatsii. – 2019. – Rezhim dostupa: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/25838.pdf> (data obrashcheniya: 12.08.2022).
26. **A.A. Yudin**, Razrabotka stsenariya razvitiya tsifrovizatsii APK Respubliki komi / A.A. Yudin, T.V. Tarabukina, I.M. Andaryanov // Sovremennyye aspekty ekonomicheskikh issledovaniy v agropromysh-



lennom komplekse. Teoreticheskiye osnovy i prikladnyye issledovaniya v oblasti selektsii, semenovodstva i biotekhnologii selskokhozyaystvennykh kultur : Materialy nauchnykh seminarov (s mezhdunarodnym uchastiyem) / Pod redaktsiyey A.A. Yudina. – Kirov : Mezhtsestvennyy tsentr innovatsionnykh tekhnologiy v obrazovanii, 2022. S. 29–47. DOI: 10.52376/978-5-907623-31-6_029

27. Digitalization in agriculture: problems of implementation / E.F. Amirova, N.K. Gavrilyeva, A.V. Grigoriev, I. V. Sorgutov // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. – 2021. – Vol. 13. – No. 6. – Pp. 144–155. – DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-6-144-XX

28. Agriculture in Developing Countries: Cultural Differences, Vectors of Sustainable Development, Digitalization, and International Experience / L.M. Lisina, A.T. Giyazov, A. L. M. M. Y. Oudah, Y.I. Dubova // Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes. – 2022. – No. b/n. – Pp. 65–74. – DOI: 10.1007/978-981-16-8731-0_7

29. Arrowhead technology for digitalization and automation solution: Smart cities and smart agriculture / I. Marcu, A. Vulpe, A.M. Drăgulescu [et al.] // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – No. 5. – P. 1464. – DOI: 10.3390/s20051464

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ЕРЕМИНА Ирина Александровна

E-mail: irenalks@mail.ru

Irina A. EREMINA

E-mail: irenalks@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9065-6019>

ЮДИН Андрей Алексеевич

E-mail: audin@rambler.ru

Andrey A. YUDIN

E-mail: audin@rambler.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3368-7497>

ТАРАБУКИНА Татьяна Васильевна

E-mail: strekalovat@bk.ru

Tatyana V. TARABUKINA

E-mail: strekalovat@bk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9738-0542>

ОБЛИЗОВ Алексей Валериевич

E-mail: oblizov_a@mail.ru

Alexey V. OBLIZOV

E-mail: oblizov_a@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1028-3617>

Поступила: 08.11.2022; Одобрена: 22.12.2022; Принята: 22.12.2022.

Submitted: 08.11.2022; Approved: 22.12.2022; Accepted: 22.12.2022.