

Научная статья

УДК 004.3

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2025-11-5-28-40>

EDN:YMAXGQ



Системный подход разработки архитектуры аналитических цифровых платформ

Алексей Анатольевич Шамин¹, al.shamin@mail.ru

Михаил Олегович Колбанев², mokolbanev@mail.ru

Артем Дмитриевич Черемухин¹✉, ngieu.cheremuhin@yandex.ru

¹Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
Княгинино, 606240, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина),
Санкт-Петербург, 125993, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. В условиях стремительного развития цифровой экономики архитектуры цифровых платформ становятся ключевым предметом научного и прикладного анализа. При этом большинство существующих таксономий и классификаций цифровых платформ сосредоточены на целях, функциях или бизнес-моделях, в то время как архитектурные особенности зачастую остаются недостаточно структурированными. Особенно остро стоит вопрос в отношении архитектур аналитических цифровых платформ, сочетающих в себе функциональность традиционных цифровых решений и методов машинного обучения, что требует комплексного системного подхода к их описанию и проектированию.

Цель исследования состоит в систематизации и анализе архитектурных компонентов цифровых платформ с позиций различных подходов системного анализа, а также в проектировании прототипа функциональной архитектуры цифровой аналитической платформы на примере аграрной сферы. В работе **применены методы** системного анализа, таксономического моделирования, сравнительной типологизации, а также проектного синтеза архитектурных решений с использованием функционального, структурного, объектно-ориентированного, кибернетического, сетевого, эволюционного и онтологического подходов.

Результаты. Сформирована обобщенная модель архитектуры аналитической цифровой платформы с указанием состава подсистем, элементов, связей, границ, среды и идентификаторов в каждом из семи подходов системного анализа. В качестве примера разработана архитектура прототипа платформы анализа рентабельности сельскохозяйственных организаций, реализующая пайплайн обработки, анализа, прогнозирования и визуализации данных.

Новизна исследования заключается в комплексном применении всех ключевых подходов системного анализа к описанию архитектур аналитических цифровых платформ, а также в формализации архитектуры, интегрирующей уровни данных, моделей, сценариев и онтологического описания сущностей.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенной архитектурной модели при проектировании цифровых платформ поддержки решений в отраслях, требующих сложной аналитики.

Ключевые слова: цифровая платформа, аналитическая система, архитектура, системный анализ, машинное обучение, функциональный подход, структурный подход, объектно-ориентированный подход, кибернетическая система, эволюционное моделирование, онтология

Ссылка для цитирования: Шамин А.А., Колбанев М.О., Черемухин А.Д. Системный подход разработки архитектуры аналитических цифровых платформ // Труды учебных заведений связи. 2025. Т. 11. № 5. С. 28–40. DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-5-28-40. EDN:YMAXGQ

Original research

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2025-11-5-28-40>

EDN:YMAXGQ

A Systems Approach to the Architecture Design of Analytical Digital Platforms

 **Aleksey A. Shamin**¹, al.shamin@mail.ru

 **Mikhail O. Kolbanev**², mokolbanev@mail.ru

 **Artem D. Cheremuhin**¹✉, ngieu.cheremuhin@yandex.ru

¹Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University,
Knyaginino, 606240, Russian Federation

²Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI",
Saint-Petersburg, 125993, Russian Federation

Annotation

*In the context of the rapid development of the digital economy, the architectures of digital platforms have become a key subject of scientific and applied analysis. Most existing taxonomies and classifications of digital platforms focus on goals, functions, or business models, while architectural aspects often remain insufficiently structured. This issue is particularly **relevant** for analytical digital platforms, which combine the functionality of traditional digital systems with machine learning methods, thus requiring a comprehensive systems-based approach to their description and design.*

*The **aim of the study** is to systematize and analyze the architectural components of digital platforms from the standpoint of various approaches to system analysis, as well as to design a prototype of the functional architecture of a digital analytical platform using the example of the agricultural sector. The research employs **methods** of systems analysis, taxonomic modeling, comparative typology, and architectural design synthesis using functional, structural, object-oriented, cybernetic, network-based, evolutionary, and ontological approaches.*

*The **result** is a generalized model of the architecture of an analytical digital platform, identifying its subsystems, elements, relationships, boundaries, environment, and identifiers according to each of the seven systems analysis approaches. As a practical example, the architecture of a prototype platform for analyzing the profitability of agricultural organizations is developed, implementing a pipeline for data processing, analysis, forecasting, and visualization.*

*The **novelty** of the study lies in the comprehensive application of all major systems analysis approaches to the description of analytical platform architectures and in the formalization of an architecture that integrates data levels, models, scenarios, and ontological entity descriptions.*

*The **practical significance** of the work is the potential use of the proposed architectural model in the design of digital decision-support platforms in industries requiring advanced analytics.*

Keywords: digital platform, analytical system, architecture, systems analysis, machine learning, functional approach, structural approach, object-oriented approach, cybernetic system, evolutionary modeling, ontology

For citation: Shamin A.A., Kolbanev M.O., Cheremuhin A.D. A Systems Approach to the Architecture Design of Analytical Digital Platforms. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2025;11(5):28–40. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2025-11-5-28-40. EDN:YMAXGQ

Введение

В современных условиях центральную роль в функционировании экономики данных играют цифровые платформы, что актуализирует вопросы их организации, и в частности выводит на первый план вопросы архитектуры цифровых платформ.

В работе [1] представлена попытка разработки таксономий промышленных цифровых платформ интернета вещей (IoT, аббр. от англ. Internet of Things), целью которых является оптимизация производственных процессов, повышение эффективности оборудования и создание новых воз-

возможностей для бизнеса. В таблице 1 представлена характеристика четырех основных архитектурных «послойных» компонента данных платформ.

ТАБЛИЦА 1. Характеристика основных архитектурных компонентов данных платформ

TABLE 1. Characteristics of the Main Architectural Components of These Platforms

Название слоя	Компоненты и их варианты
Инфраструктурный	– Поддержка оборудования (агностическое или сертифицированное) – Варианты размещения платформы (облачное, локальное, гибридное) – Методы обработки данных (edge, fog, onplatform)
Сетевой	– Физическая передача данных (проводные, беспроводные технологии: короткий радиус, сотовые сети, LPWAN) – Логическая передача данных (протоколы интернета, специфичные для IoT или для отрасли)
Слой промежуточного программного обеспечения	– Структура данных (структурированные и неструктурированные) – Типы аналитики (описательная, оперативная, предсказательная, предписывающая) – Технологии аналитики (базовые или продвинутое, такие как машинное обучение)
Приложения	– Типы API (стандартизированные, кастомные) – Деллой приложений (родные платформы, контейнеры, вне платформ) – Маркетплейсы (внутренние, внешние, отсутствие)

Авторами статьи [1] были выделены 5 основных архетипов архитектур цифровых платформ.

Архетип 1. Универсалы (Allrounders) поддерживают агностическое оборудование; предоставляют все варианты размещения (облачное, локальное, гибридное); реализуют разнообразные способы передачи данных, включая проводные, беспроводные (LPWAN, сотовые сети); используют продвинутую аналитику (все типы аналитики) и технологии машинного обучения; интегрируют стандартизированные API; приложения размещаются на платформе. Присутствует внутренний маркетплейс.

Архетип 2. Минималисты (Purists) демонстрируют фокус на публичных облаках и onplatform-обработке данных; используют ограниченные варианты передачи данных; ориентированы на проводные и короткодиапазонные беспроводные технологии; используют базовую аналитику (описательная и оперативная), ее интеграция минимальна; предпочитают родные для платформы приложения. Для минималистов свойственно отсутствие маркетплейса или наличие внешних вариантов.

Архетип 3. Аналитики (Analysts) – инфраструктура нацелена на поддержку всех типов обработки

данных (edge, fog, onplatform); сделан акцент на отраслевые протоколы передачи данных; присутствует сильный фокус на продвинутой аналитике (предсказательная, предписывающая), интеграции бизнес- и производственных систем; приложения в основном размещаются на платформе и имеют закрытый исходный код.

Архетип 4. Коннекторы (Connectors) – инфраструктура поддерживает как сертифицированное, так и агностическое оборудование; характерен сильный акцент на fog-обработке данных. Коннекторы предоставляют широкие возможности передачи данных (в том числе LPWAN, сотовые сети); включают базовую аналитику и интеграцию с внешними системами; работают со стандартизированными API; имеют внутренний маркетплейс.

Архетип 5. Интеграторы (Integrators) – присутствует сильный акцент на сертифицированное оборудование и гибридные модели размещения; используются отраслевые протоколы и проводные технологии; замечен акцент на интеграцию с внешними производственными системами; используются структурированные данные; сделан упор на кастомизированные API и приложения, развертываемые в контейнерах.

Работа [2] посвящена особенностям цифровых платежных платформ (специализированных систем, обеспечивающих выполнение платежных операций с использованием различных форм цифровых технологий). Авторы выделили основные составляющие их архитектуры (степень централизованности, транзакционности и виртуальности) и идентифицировали 4 основных типа платформ по их архитектуре:

1) местные (для развития локальной экономики и укрепления социальных связей), поддерживают как стандартные (карты, POS), так и динамические (мобильные приложения) архитектуры, а также обеспечивают обратимость в официальную валюту и требуют физического взаимодействия для транзакций;

2) проприетарные (для поддержки социальных программ и управления местными экономиками), часто базируются на стандартных архитектурах, как правило, характеризуется централизованным управлением и ограниченным географическим покрытием;

3) общественные (для содействия обмену услугами и товарами внутри сообщества), обычно характеризуются минимальными технологическими требованиями, одноуровневыми транзакциями и отсутствием обратимости в официальные валюты;

4) киберплатформы (альтернативные финансовые системы на основе криптовалют), применяющие технологии блокчейна.

В работе [3] исследуются цифровые научные платформы, но они рассматриваются только с точки зрения целей их субъекта и делятся на государственные, рыночные и научные.

Авторы статьи [4] выделили *3 архетипа цифровых платформ* на основе 4-х измерений: инфраструктура (прямой, косвенный, открытый доступ); техническое ядро (открытость ресурсов, закрытость для инноваций или высокая интеграция); экосистема (частные или федеративные сети); цифровые услуги (ориентация на обмен или на дизайн).

1. *Платформы оркестровки* ориентированы на внешние связи, обладают высокой степенью открытости ресурсов и доступа, основываются на федеративных сетях, которые включают независимых третьих сторон, предназначены для координации экосистем для максимизации сетевого эффекта и роста).

2. *Платформы объединения* ориентированы внутрь, обладают закрытой инфраструктурой, основываются на частных сетях с ограниченным доступом и контролем ресурсов для создания эксклюзивного бизнес-пространства для внутренних операций без вмешательства третьих сторон).

3. *Инновационные платформы.*

При этом необходимо обратить внимание на отсутствие непосредственного фокуса именно на особенностях архитектуры цифровых платформ и их ключевые измерения.

Однако все рассмотренные таксономии имеют лишь косвенный акцент на различиях в архитектуре. Кроме того, в современных условиях кажется неполным рассмотрение составляющих архитектур платформ в «вакууме», по мнению авторов, более верным будет комплексный подход – взаимное рассмотрение архитектур методов машинного обучения и архитектур цифровых платформ с учетом особенностей разных уровней цифровой экономики, что особенно важно ввиду ее динамичного развития [5–10].

Основные подходы системного анализа и их применение к анализу структуры цифровых платформ

С точки зрения системного анализа, каждое «целое» состоит из следующих составляющих:

- подсистемы (части, обладающие относительной автономностью и выполняющие специфические функции);
- элементы (минимальные компоненты, которые не делятся дальше в рамках текущего анализа);
- связи (взаимодействия между элементами и подсистемами – потоки данных, управление, ресурсы);

– границы (правила, которые определяют, какие элементы входят в рассматриваемый объект, а какие находятся во внешней среде);

– среда (внешние факторы, которые влияют на систему);

– уникальные идентификаторы.

При этом в зависимости от подхода различается типология выделяемых объектов; всего можно выделить *7 основных подходов к идентификации* основных составляющих.

Функциональный подход [11] базируется на делении в системе функциональных блоков, ориентированных на выполнение определенных задач. Объектами анализа в этом случае выступают функции, потоки входов и выходов, каналы передачи ресурсов и информации. На практике функциональный подход реализуется в виде построения бизнес-процессов (например, нотация BPMN), функциональных блок-схем в инженерии, а также в модульной декомпозиции программных систем (модули расчета, аналитики, визуализации и др.).

Структурный подход [12] предполагает выделение элементов системы и установление их иерархических и межкомпонентных связей. Основными объектами здесь являются компоненты, подсистемы, уровни иерархии, а также каналы взаимодействия. В практической плоскости данный подход находит применение при проектировании организационных структур, создании архитектурных диаграмм (например, UML-диаграмм компонентов), построении инженерных схем. Он позволяет описывать конфигурацию системы, выявлять узлы уязвимости и оптимизировать структурные взаимосвязи.

Объектно-ориентированный подход [13] трактует систему как совокупность объектов, обладающих состояниями и поведением. На практике он широко используется в объектно-ориентированном программировании, построении UML-диаграмм классов и объектов, разработке API-интерфейсов и цифровых сервисов. Объектный подход обеспечивает высокую модульность, повторное использование компонентов и расширяемость системы.

Кибернетический (процессно-управленческий) подход акцентирует внимание на процессах управления, обратной связи и информационных потоках. В рамках данного подхода [14] выделяются управляющие и управляемые подсистемы, регуляторы, сенсоры, целевые установки и механизмы корректировки. Практическая реализация включает автоматизированные системы управления, архитектуры адаптивного искусственного интеллекта (ИИ), нейросетевые модели с обратной связью, а также системы мониторинга и прогнозирования. Подход особенно актуален при построении систем с высокой степенью автономности и адаптивности.

Сетевой подход рассматривает систему как совокупность взаимосвязанных узлов (агентов), между которыми происходят взаимодействия [15]. Основными объектами анализа являются узлы, связи, маршруты и метрики сети (центральность, плотность, связность). В практической реализации сетевой подход применяется при проектировании цифровых платформ, социальных и логистических сетей, систем IoT, а также при построении графов знаний. Он позволяет анализировать устойчивость, масштабируемость и адаптивность распределенных систем.

Генетико-эволюционный подход [16] фокусируется на эволюции системы во времени, исследуя механизмы изменения структуры и поведения. В качестве объектов анализа рассматриваются фазы развития, механизмы мутаций, наследования и отбора. На практике он применяется в генетических алгоритмах и эволюционном моделировании, при разработке адаптивных архитектур ИИ, анализе жизненного цикла программных продуктов и систем организационного развития.

Онтологический подход направлен на формализацию знаний о системе через построение онтологий [17] – структурированных моделей сущностей и отношений. Выделяются сущности, атрибуты, типы связей и логические правила вывода. Подход применяется в построении онтологий, формализации семантических сетей, когнитивных архитектур, системах объяснимого ИИ и семантического поиска.

Рассмотрим особенности цифровых платформ как системы с точки зрения каждого подхода на примере любого маркетплейса [18].

Изучая цифровые платформы с точки зрения функционального подхода, отметим, что роль подсистем выполняют функциональные блоки платформы (например, каталог, оплата, аналитика) – это логически обособленные части, выполняющие ключевые бизнес-задачи и организованные в микросервисную структуру. Элементами в данном случае выступают атомарные функции, такие как оформление заказа или фильтрация (т.е. конкретные действия пользователя или процессы, происходящие в системе). Связями между элементами являются функциональные потоки – потоки данных, управления и ресурсов, а также API-вызовы, webhooks и очереди сообщений. Границами системы служат рамки бизнес-процессов, включая переход данных между блоками и завершение одного процесса с началом другого. Средой системы являются внешние сервисы, такие как банки, логистика, партнерские системы, формирующие контекст функционирования платформы. Идентификаторами в системе служат коды функ-

ций, trace ID, уникальные идентификаторы процессов и логическая адресация действий.

С точки зрения структурного подхода, подсистемами платформы выступают архитектурные компоненты — frontend, backend, базы данных, интеграционные шлюзы, представляющие собой логически и технически разделенные слои цифровой платформы. Элементами являются конкретные компоненты реализации – части интерфейса, контроллеры, таблицы баз данных и API-интерфейсы. Связями служат физические и логические интерфейсы, включая REST, RPC, конфигурационные файлы, обеспечивающие взаимодействие между архитектурными уровнями. Границы системы определяются архитектурной декомпозицией, включающей перечень компонентов и их интерфейсов с внешней средой. Средой выступает инфраструктура: облачные решения, хостинг, DevOps-инструменты, представляющие внешнее окружение архитектуры. Идентификаторы обозначены архитектурными тегами, версиями, маршрутами API (т.е. средствами структурной адресации компонентов).

С точки зрения объектно-ориентированного подхода, подсистемами являются классы объектов, такие как User, Product, Order, – логически организованные группы сущностей, обладающие общими атрибутами и поведением. Элементами системы служат экземпляры этих объектов с конкретными атрибутами и методами, например User.name, Product.price, Order.total, реализуемые как в программном коде, так и в базах данных. Связями между ними выступают ассоциации, агрегации и композиции – логические и программные зависимости объектов. Границы определяются областью действия объектов, их зоной видимости, правами доступа, а также жизненным циклом экземпляров. Среда включает внешние классы, API и устройства (контексты, в которых функционируют объекты). В качестве идентификаторов выступают ID, slug, хеши – уникальные ссылки на конкретные экземпляры.

В рамках кибернетического подхода подсистемы представляют собой управляющие и управляемые компоненты: алгоритмы рекомендаций, пользовательский интерфейс, A/B тестирование (выполняет управляющие функции). Элементами системы становятся сенсоры (например, трекеры поведения) и регуляторы (алгоритмы персонализации), обеспечивающие процессы кибернетического управления. Связи в системе выражаются через сигналы обратной связи и управляющие воздействия, обеспечивающие передачу управляющей информации. Границами системы служат рамки управляющих алгоритмов и зоны интерфейса или поведения, на которые направлено управление. Внешняя среда включает рыночные сигналы и пользо-

вательские предпочтения, формирующие информационный контекст. Идентификаторами служат параметры настройки, управляющие ключи и адресация алгоритмов управления.

С точки зрения сетевого подхода, подсистемы формируются кластерными зонами и сетевыми сервисами – объединениями пользователей, товаров и сервисов по принципу взаимодействия. Элементами системы выступают отдельные узлы сети: пользователи, сервисы, продукты, т. е. сущности, участвующие во взаимодействиях. Связями являются информационные и транзакционные потоки, а также граф взаимодействия между участниками системы. Границы системы определяются топологией сети – техническими и организационными ограничениями подключения узлов. Средой являются сторонние платформы, внешние пользователи и сервисы, расширяющие цифровую экосистему. В качестве идентификаторов применяются адреса узлов, ключи доступа, API-токены, позволяющие идентифицировать сетевых участников.

При рассмотрении цифровой платформы *в рамках генетико-эволюционного подхода* подсистемами являются фазы и версии платформы – от минимально жизнеспособного продукта до зрелой архитектуры, отражающие этапы развития. Элементами становятся изменяемые параметры, A/B варианты и функциональные модули – основа для адаптации системы. Связи выражаются в виде зависимостей между версиями и модулями, указывающих на эволюционные изменения конфигураций. Границы определяются фазами жизненного цикла, разделением на экспериментальные и стабильные зоны. Среда представлена трендами, пользовательской обратной связью и поведением пользователей – внешними факторами, влияющими на адаптацию. Идентификаторы включают коды изменений, номера версий и эволюционные метки, отражающие историю развития системы.

При онтологическом подходе подсистемами выступают онтологические классы сущностей: пользователь, заказ, товар, категория, формирующие формальные группы понятий. Элементами являются конкретные онтологические сущности, такие как категории, профили, транзакции, – структурные элементы формализованной модели знаний. Связи между ними представлены семантическими отношениями, такими как *isA*, *partOf*, *belongsTo*, формализующими логику взаимодействия между сущностями. Границы системы определяются рамками онтологии – перечнем включенных и исключенных понятий. Среда формируется за счет внешних онтологий и открытых графов знаний, расширяющих понятийную модель платформы. Идентификаторы включают URI, индексы RDF, а также уникальные идентификаторы сущностей в

графе знаний, обеспечивающие онтологическую адресацию.

Понятие аналитической цифровой платформы и составляющих ее архитектуры

Большая часть современных платформ данных поддерживает проведение аналитических работ; таким образом, можно говорить о возникновении аналитических цифровых платформ [19] – типа цифровой платформы, ориентированной на комплексное извлечение, обработку, интерпретацию и представление знаний на основе собранных данных, обеспечивающий поддержку интеллектуального анализа, прогнозирования и принятия решений в различных предметных областях. Соответственно, составляющие аналитических цифровых платформ должны включать в себя компоненты и цифровых платформ, и методов обучения. Определение составляющих системы аналитической цифровой платформы в разных подходах системного анализа представлено ниже.

С позиции функционального подхода подсистемами аналитической цифровой платформы являются модули подготовки данных, анализа, визуализации и прогноза, а также интерфейсы взаимодействия. В рамках пайплайна аналитической обработки они соответствуют этапам предобработки, обучения, тестирования и прогнозирования. Элементами платформы выступают функции фильтрации, агрегации, расчета индикаторов, а также процедуры предобработки, отбора признаков, обучения модели и вычисления метрик. Связями являются потоки данных между модулями аналитической платформы, включая передачу информации между этапами пайплайна. Границы системы определяются рамками аналитических сценариев и задач, а также переходами между фазами: обучением, прогнозом и практическим применением модели. Среда составляют внешние источники данных и внешние отчеты, включая обучающие выборки и тестовое окружение. В качестве идентификаторов используются уникальные идентификаторы отчетов, пользователей, аналитических задач, моделей, экспериментов и пайплайнов.

Согласно структурному подходу, аналитическая цифровая платформа состоит из архитектурных блоков, таких как хранилища данных, вычислительные движки, визуализаторы и API-интерфейсы. Эти блоки включают компоненты загрузки данных, моделей, вычислительных модулей и библиотек. Элементами системы являются отдельные сервисы, компоненты визуализации, базы данных, слои нейронных сетей, скрипты и программные модули. Связи формируются через API-запросы и протоколы передачи данных, а также взаимодействие архитектурных слоев и вызовы моделей.

Границы системы определяются интерфейсами подключения модулей и источников данных, а также границами между компонентами модели и областью действия кода. Внешнюю среду составляют ИТ-инфраструктура, облачные сервисы, инфраструктура обучения и хранилища моделей. Идентификаторы представлены маршрутами API, версиями компонентов, именами скриптов и идентификаторами слоев модели.

При объектно-ориентированном рассмотрении подсистемами платформы являются типы аналитических объектов: отчеты, дашборды, модели, аналитические сценарии. Также включаются логические объекты, такие как Dataset, Model, Metric, Optimizer. Элементами системы служат конкретные экземпляры объектов: отчеты, графики, панели, аналитические запросы, а также объекты Model, Metric и Dataset с конкретными параметрами. Связи представлены зависимостями между объектами, ассоциациями между сущностями и их атрибутами. Границы определяются областями действия аналитических объектов и применимости модели, а также зоной видимости классов. Среда включает пользователей, системы поддержки принятия решений, внешние классы и интерфейсы. Идентификаторами выступают уникальные метки аналитических объектов и идентификаторы их экземпляров.

В рамках кибернетического подхода подсистемами являются управляющие блоки: планировщики, триггеры, системы автоматизации сценариев, контроллеры качества модели, оптимизаторы и функции потерь. Элементами служат настройки автоматизации, параметры уведомлений, сенсоры качества, механизмы типа learning rate scheduler и другие регуляторы. Связи реализуются в форме правил автоматизации, сигналов событий, обратной связи и параметрической корректировки. Границы системы определяются диапазоном действия автоматизации и аналитических компонентов, а также охватом управляющих механизмов. Среда включает внешние события, ключевые показатели эффективности, производственные метрики, требования к качеству и внешние сигналы. Идентификаторы представлены параметрами автоматизации, уведомлениями, управляющими параметрами и флагами моделей.

Согласно сетевому подходу, подсистемами выступают сетевые модули аналитической платформы – сервисы обработки данных, BI-интерфейсы, аналитические API, нейросетевые архитектуры, а также взаимосвязи между слоями и параметрами. Элементами являются узлы аналитической сети: BI-сервисы, ML-сервисы, а также нейроны, признаки и связи между блоками модели. Связями являются взаимодействия BI-сервисов и ML-алгоритмов, связи между слоями нейросетей, весовые ко-

эффициенты и зависимости между признаками. Границы системы формируются на уровне интеграции в бизнес-процессы и определяются охватом признаков и пределов сети. Средой являются внешние информационные системы (BI, CRM, ERP), потоки данных и интеграционные платформы. Идентификаторы включают адреса узлов BI-сети, коды признаков и веса связей между элементами.

В рамках генетико-эволюционного подхода подсистемами являются версии аналитических модулей, этапы развития аналитики от ручной обработки к ML и AutoML, а также этапы генерации и оптимизации моделей. Элементами выступают настройки фильтров, параметры моделей, логи событий, архитектурные изменения и гиперпараметры. Связи представляют собой эволюционные изменения между модулями и их версиями, переходы между архитектурами и сохраненные состояния. Границы определяются версиями моделей, зонами экспериментов и стабильными рабочими конфигурациями, а также фазовыми границами жизненного цикла модели. Среда включает конкурентные платформы, требования заказчиков и контексты применения моделей. В качестве идентификаторов используются версии дашбордов и аналитических сценариев, коды архитектур и значения гиперпараметров.

Согласно онтологическому подходу, подсистемами выступают классы сущностей аналитической системы: анализ, отчеты, модели, ресурсы, пользователи, а также онтология объектов – модель, данные, метрики, задачи и алгоритмы. Элементами являются конкретные понятия, такие как «пользовательский запрос», «отчет», «анализ», а также сущности – «модель», «задача», «гиперпараметр», «обучающая выборка». Связи представлены семантическими отношениями между анализом, отчетами и источниками данных, а также логическими связями «использует», «порождает», «зависит от». Границы системы определяются рамками понятий, включенных в терминологию аналитики, а также онтологией задач и объектов. Средой являются домены знаний, внешние классификации, бизнес-онтологии, базы знаний и графы понятий. Идентификаторами служат URI аналитических сущностей, семантические теги, URI моделей и онтологические идентификаторы.

Выделенные в разных подходах составляющие аналитической цифровой платформы позволяют проектировать их на основании или уже существующих цифровых платформ, или на основании проведенных исследований в области машинного обучения.

Проектирование архитектуры цифровой аналитической платформы

В качестве примера спроектируем аналитическую цифровую платформу на основе исследований [20, 21] об эффективности сельскохозяйственных организаций. В них рассматриваются возможности и результаты применения метода опорных векторов для анализа факторов, влияющих на прибыльность сельскохозяйственных организаций. В первой работе был проведен анализ факторов прибыльности сельхозорганизаций Нижегородской области за период 2007–2017 гг. Авторы применили модифицированный алгоритм рекурсивного исключения признаков (MSVM-RFE) для отбора наиболее информативных переменных и построили SVM-модели с различными типами ядер. Основное внимание уделено сопоставлению результатов моделей по годам, что позволило проследить изменение значимости факторов во времени и построить динамический профиль ключевых характеристик, влияющих на финансовые показатели организаций. Во второй статье акцент был смещен в сторону дифференцированного анализа прибыльности с учетом специализации организаций по видам производимой продукции. Исследование расширено за счет построения SVM-моделей для подгрупп предприятий (зерновые, овощи, рапс, лен и др.), при этом для каждой группы выделялись индивидуальные наборы значимых факторов.

На основе этого был разработан проект интеллектуальной системы, предназначенной для поддержки принятия решений в аграрной сфере на основе систематического анализа статистических данных с применением методов машинного обучения. Основной целью этой цифровой аналитической платформы является не просто сбор и хранение информации о сельскохозяйственных организациях, а трансформация данных в знания, способные выявлять ключевые закономерности, определяющие эффективность деятельности предприятий. В центре платформы находится аналитическое ядро, построенное на методе опорных векторов и его модификациях, что позволяет решать задачи классификации и прогнозирования рентабельности организаций, а также формировать динамические профили значимых факторов с учетом отраслевой и продуктовой специализации. Рассмотрим далее основные особенности ее архитектуры с точки зрения разных подходов.

С точки зрения функционального подхода, в состав подсистем аналитической цифровой платформы входят модули:

- агрегации и предобработки данных (обеспечивает сбор, очистку, нормализацию и структурирование статистических данных о сельскохозяйственных организациях);

- отбора признаков (реализует алгоритмы интеллектуального отбора значимых факторов на основе метода рекурсивного исключения признаков и формирования рейтингов по их влиянию на прибыльность);

- построения моделей (отвечает за формирование классификационных и прогнозных моделей с использованием метода опорных векторов и его модификаций);

- дифференцированной аналитики (обеспечивает построение отдельных аналитических сценариев для подгрупп организаций с различной производственной специализацией);

- динамического анализа факторов (анализирует изменение значимости факторов во времени);

- визуализации (предоставляет результаты в виде интерактивных диаграмм, карт и графиков);

- формирования управленческих рекомендаций (интерпретирует аналитические результаты и трансформирует их в прикладные решения);

- сценарного прогнозирования (моделирует возможные изменения рентабельности при варьировании управляемых факторов).

Элементами системы являются конкретные функции и процедуры, реализуемые в рамках каждой подсистемы: фильтрация и нормализация показателей; расчет значений признаков; вычисление важности факторов; построение гиперплоскости разделения классов; оценка точности классификации, визуальное представление значений метрик; генерация отчетных форм; механизмы генерации сценариев и алгоритмы формирования прогнозов. Эти элементы представляют собой атомарные операционные единицы, обеспечивающие реализацию функций на каждом этапе аналитического цикла.

Границы системы определяются рамками аналитических задач, которые платформа способна решать. Это, в первую очередь, задачи оценки рентабельности, анализа факторов эффективности и прогнозирования финансовых результатов организаций аграрного сектора. За пределами системы остаются процессы непосредственного управления производством, нормативно-правовое регулирование и внешняя бухгалтерская отчетность – они рассматриваются как внешние источники данных или области применения результатов анализа.

Средой функционирования платформы являются внешние источники данных (статистические базы, отраслевые реестры, корпоративные информационные системы), вычислительная инфраструктура (серверы, облачные сервисы, ML-платформы), а также профессиональные пользователи (аналитики, управленцы, научные сотрудники), взаимодействующие с платформой через интерфейсные панели, API или отчетные модули. Эта среда оказывает

влияние на полноту данных, параметры моделей и применимость аналитических сценариев.

С точки зрения структурного подхода, к основным структурным подсистемам аналитической платформы относятся модули:

- сбора и хранения данных (реализует интерфейсы подключения к источникам и формирует централизованное хранилище данных);
- обработки и трансформации (включает структурирование, очистку и агрегирование данных);
- вычислений (выполняет математическую обработку, обучение моделей и расчет прогнозов);
- визуализации (представляет результаты в визуально интерпретируемой форме);
- управления конфигурацией (обеспечивает настройки моделей, управление параметрами и доступами);
- обмена с внешними системами (API-интерфейсы, интеграционные шлюзы).

Границы системы в структурном аспекте определяются архитектурными слоями – нижний уровень хранения данных, уровень обработки, уровень моделей, визуализации и внешнего взаимодействия. Границы также устанавливаются между внутренними компонентами и внешней ИТ-инфраструктурой, включая регламент подключения сторонних источников и ограничения на передачу данных.

Среда функционирования описывается как совокупность технических и программных условий, в которых система выполняет свои функции. Это вычислительные ресурсы (серверы, облачные контейнеры), системы управления данными, внешние цифровые платформы, с которыми осуществляется обмен. Среда влияет на устойчивость архитектуры и производительность выполнения задач.

С точки зрения объектно-ориентированного подхода, основу платформы составляют классы объектов, отражающих ключевые сущности аналитической системы: объект данных (содержит структуру набора данных, метаописания, источники), объект модели (включает тип модели, параметры, методы обучения и прогнозирования), объект анализа (представляет собой аналитический сценарий с настройками и логикой исполнения), объект отчета (содержит параметры визуализации, структуру отчетных форм и связанные метрики), объект пользователя (описывает роль, права доступа, историю действий), объект метрики (представляет собой измеритель точности, важности или эффективности модели).

Элементы системы в данном подходе – это конкретные экземпляры объектов: набор данных за 2017 г., SVM-модель (реальная) с RBF-ядром и параметрами, отчет по организации с определенным

уровнем рентабельности, сеанс аналитического сценария. Каждый элемент обладает собственным идентификатором и атрибутами, хранящими параметры состояния.

С точки зрения кибернетического подхода, аналитическая цифровая платформа включает управляющие подсистемы, которые обеспечивают корректировку параметров моделей, управление выбором признаков, переключение аналитических сценариев, а также адаптацию к изменению внешней среды. Эти подсистемы функционируют на основе получаемой информации о текущем состоянии моделей, метрик точности, ошибок классификации и динамике рентабельности организаций. Роль регуляторов выполняют алгоритмы оптимизации, функции автоматического подбора параметров и механизмы оценки качества результатов.

Элементами системы выступают сенсоры и контроллеры. Сенсоры – это метрики, фиксирующие текущее состояние модели: точность классификации, чувствительность к признакам, стабильность прогнозов. Контроллеры – алгоритмы, изменяющие параметры модели, инициирующие переобучение, изменяющие сценарии анализа в зависимости от обратной связи.

Связи в системе представляют собой петли обратной связи: информация о состоянии модели передается в управляющий модуль, который принимает решение о корректировке параметров или пересчете результатов. Обратная связь обеспечивает самонастройку платформы и адаптацию к изменениям в данных и во внешней среде.

Границы системы определяются контуром управления: только те компоненты, которые входят в цикл анализа, прогнозирования и корректировки, считаются частью системы. Внешняя среда, включая источники данных, потребителей информации и инфраструктуру, является объектом воздействия или влияния, но не входит в управляющий контур.

Среда системы включает в себя входные сигналы (данные, события, ошибки), выходные воздействия (рекомендации, отчеты, прогнозы), а также помехи (неполные данные, шум, искажения), к которым система должна быть устойчива. Именно адаптация к среде является основной функцией кибернетической архитектуры.

С точки зрения сетевого подхода, подсистемами являются технологические сегменты сети: вычислительный кластер для обучения моделей; аналитический слой, реализующий сценарии классификации и прогнозирования; слой визуализации с BI-интерфейсами и API-доступом; коммуникационные компоненты для взаимодействия между сервисами. Все подсистемы связаны через конкрет-

ные сетевые интерфейсы (REST API, gRPC), очереди сообщений (Kafka, RabbitMQ) или каналы передачи параметров и данных (JSON, Protobuf).

Границы системы определяются наличием зарегистрированных узлов внутри общей сетевой архитектуры. Например, все компоненты, развернутые в пределах единого кластера аналитики, составляют внутреннюю сеть; подключение внешних систем (например, статистической базы Минсельхоза) происходит через шлюз API и считается выходом за границы.

Среда включает внешние информационные узлы: базы данных Росстата, корпоративные ERP-системы, облачные сервисы хранения моделей, BI-платформы пользователей. Эти узлы передают данные во внутреннюю сеть платформы, где они обрабатываются по регламентированным маршрутам.

С точки зрения генетико-эволюционного подхода, архитектура аналитической платформы отражает последовательные стадии развития функциональности – от простейших модулей статистической отчетности до внедрения интеллектуальных ML-компонентов. Система состоит из технологических слоев, каждый из которых представляет собой этап эволюции. Например, слой ручной аналитики (2000–2010 гг.) реализуется в виде компонентов формирования стандартных отчетов и таблиц сводных показателей; слой автоматизированной аналитики (2010–2015 гг.) включает модули фильтрации, агрегации, расчета индикаторов; слой интеллектуального анализа (с 2015 г.) представлен SVM-моделями, сценарным прогнозированием и автоаналитикой.

Подсистемами являются блоки, соответствующие эволюционным этапам: подсистемы отчетных форм, статистической фильтрации, машинного обучения (SVM), анализа специализаций, динамики факторов, сценарного прогнозирования. Каждая подсистема имеет версию историю, которая отражает ее развитие: например, модуль SVM-модели версии 1.0 поддерживает только линейное ядро, версия 2.0 — RBF-ядро и кросс-валидацию.

Элементами являются конкретные версии компонентов: модель SVM_v1, визуализатор_v2.1, отчетный шаблон_2017, MSVM-RFE_v3.0. Эти элементы имеют дату внедрения, описание параметров, уровень зрелости (например, экспериментальный или промышленный). Архитектура учитывает их взаимосвязи и устаревание.

Связи описываются как линии наследования и трансформации: отчетный шаблон образован из предыдущей версии, компонент метрик точности мигрировал в новый модуль автооценки, SVM-модель адаптирована к новым признакам после обновления алгоритма отбора. Система хранит логи изменений и версии зависимостей.

Границы системы устанавливаются на основе стадий зрелости: ядро состоит из актуальных стабильных компонентов; периферия — из экспериментальных функций. Например, компонент прогностического анализа специализаций может быть частью экспериментального слоя и запускаться отдельно от основной аналитики.

Идентификаторы включают коды версий модулей (model_v2.3), метки эволюционного уровня (например, «legacy», «active», «deprecated»), лог изменений и истории использования конкретных моделей и сценариев.

С точки зрения онтологического подхода, аналитическая цифровая платформа строится как формализованная предметная модель, содержащая описание всех сущностей, процессов и отношений между ними в терминах онтологии.

Подсистемами являются онтологические классы верхнего уровня:

- DataEntity (описание структуры входных данных, их источников, типов и форматов);
- ModelEntity (описание всех типов моделей, включая SVM, их атрибутов, ядра, гиперпараметров, способов оценки)
- AnalysisScenario (сценарии применения моделей, критерии запуска);
- ReportEntity (формы представления аналитических выводов, структура отчетов, метрик и графиков);
- DecisionSupport (сущности, связанные с управленческими рекомендациями и влиянием анализа на действия пользователя).

Элементами являются экземпляры онтологических классов: конкретный набор данных за 2019 г. (DataInstance_2019), SVM-модель с RBF-ядром (ModelInstance_SVM_RBF), сценарий анализа рентабельности по специализации (Scenario_GrainFarms), отчет о точности модели (Report_F1score_Grain2020).

Границы системы определяются содержанием онтологии. Все, что описано как класс, атрибут или отношение, принадлежит системе. Все, что не описано, – внешняя среда. Например, если понятие «качество почв» не включено в онтологию, то аналитика по нему не может быть частью платформы.

Данный подход может быть применен к любой информационной системе, использующей машинное обучение в качестве основы аналитики; для этого необходимо рассмотрение машинное обучение с точки зрения системного анализа (таблица 2). На основе материала таблицы 2 можно разработать описание любой цифровой аналитической платформы с помощью разных подходов.

ТАБЛИЦА 2. Составляющие машинного обучения с точки зрения разных подходов системного анализа

TABLE 2. Components of Machine Learning from the Perspective of Different Systems Analysis Approaches

Подход	Подсистемы	Элементы	Связи	Границы системы	Среда системы	Идентификаторы
Функциональный	Функциональные блоки систем машинного обучения	Минимальные действия с данными	Связи между функциями	Разделение между этапами работы с данными	Все, что влияет на функциональность системы извне	Уникальные названия функций, шагов, идентификаторы задач обучения и прогнозирования
Структурный	Архитектурные компоненты системы	Конкретные компоненты	Программные зависимости между компонентами системы	Границы между модулями	Инфраструктура	Версии модулей, маршруты передачи данных
Объектно-ориентированный	Классы объектов, соответствующих ключевым сущностям в машинном обучении	Объекты с конкретными характеристиками	Логические и программные связи между объектами	Область действия объектов	Сторонние библиотеки, объекты, участвующие в процессе обучения	Уникальные идентификаторы объектов (модели, выборки, отчеты)
Кибернетический	Подсистемы управления: алгоритмы	Сенсоры (измерители качества модели, например, точность или ошибка), регуляторы (алгоритмы корректировки параметров модели, адаптации скорости обучения)	Обратные связи	Область воздействия управляющих механизмов	Поведение модели в условиях нестабильных данных, неожиданных ситуаций, изменения требований	Идентификаторы управляющих алгоритмов
Сетевой	Сетевые структуры	Узлы	Связи между узлами	Границы архитектурной сети	Внешние потоки данных	Коды узлов, идентификаторы слоев
Генетико-эволюционный	Этапы развития модели	Параметры и характеристики моделей	Наследственные связи между поколениями моделей	Разделение на стабильные и экспериментальные модули	Пользовательские потребности	Идентификаторы версий, коды изменений, конфигурационные параметры моделей
Онтологический	Классы понятий и сущностей	Онтологические сущности	Семантические отношения	Границы понятийной модели	Внешние модели знаний, базы понятий, другие онтологии	Формальные обозначения сущностей, их атрибутов и связей

Заключение

Проведенный анализ показал, что архитектура цифровых и аналитических платформ может быть рассмотрена с различных теоретико-системных позиций, каждая из которых позволяет выявить специфические аспекты структуры, функционирования и взаимодействия элементов. Сопоставление подходов системного анализа с реальными компонентами архитектур промышленного IoT, платежных, научных и аналитических платформ позволяет утверждать, что универсального решения не существует – выбор архитектурной парадигмы должен определяться задачами, типом данных, отраслевыми условиями и масштабами экосистемы. Особенно важным становится междисциплинарный подход, интегрирующий инженерные, когнитивные и организационные перспективы.

Новизна исследования заключается в одновременном рассмотрении архитектур цифровых платформ и архитектур систем машинного обучения в рамках единой системной методологии. Это позволяет синтезировать целостную модель аналитической цифровой платформы, в которой архитектурные решения по хранению, обработке, анализу и визуализации данных согласуются с типами решаемых задач, механизмами адаптации и управляемости системы. Пример платформы поддержки принятия решений в аграрной сфере демонстрирует возможность практической реализации системного подхода на стыке нескольких научных парадигм – функциональной, объектно-ориентированной, эволюционной и онтологической.

Будущие исследования могут быть направлены на уточнение онтологий аналитических платформ в конкретных предметных областях, разработку

формальных метамodelей архитектур на основе системных подходов, а также создание инструментов автоматического сопоставления бизнес-требований с архитектурными решениями. Актуальной задачей остается интеграция платформенных решений с инструментами explainable AI, что требует дополнительных теоретических и приклад-

ных разработок на стыке онтологического и кибернетического подходов. Кроме того, перспективным направлением видится моделирование жизненного цикла аналитической платформы с учетом цифровой трансформации отраслей и эволюции требований пользователей.

Список источников

1. Arnold L., Jöhnk J., Vogt F., Urbach N. A Taxonomy of Industrial IoT Platforms' Architectural Features // *Proceedings of the 16th International Conference on Wirtschaftsinformatik "Innovation Through Information Systems. Volume III: A Collection of Latest Research on Management Issues"* (WI 2021, 9–11 March 2021). Lecture Notes in Information Systems and Organisation. Cham: Springer, 2021. Vol. 48. PP. 404–421. DOI:10.1007/978-3-030-86800-0_28
2. Diniz E.H., Siqueira E.S., van Heck E. Taxonomy of digital community currency platforms // *Information Technology for Development*. 2019. Vol. 25. Iss. 1. PP. 69–91. DOI:10.1080/02681102.2018.1485005
3. da Silva Neto V.J., Chiarini T. The Platformization of Science: Towards a Scientific Digital Platform Taxonomy // *Minerva*. 2023. Vol. 61. PP. 1–29. DOI:10.1007/s11024-022-09477-6. EDN:WXTASP
4. Blaschke M., Haki K., Aier S., Winter R. Taxonomy of Digital Platforms: a Platform Architecture Perspective // *Proceedings of the 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik* (Siegen, Germany, 24–27 February 2019). PP. 572–586.
5. Кутлиев Г., Бабаев И. Управление цифровой экономикой с помощью искусственного интеллекта: новый уровень эффективности // *Символ науки: международный научный журнал*. 2024. Т. 1. № 10-2. С. 127–128. EDN:NVYVIN
6. Глинский В.В., Серга Л.К. Об измерении результатов деятельности цифровой экономики на региональном уровне // *Вестник НГУЭУ*. 2022. № 4. С. 219–233. DOI:10.34020/2073-6495-2022-4-219-233. EDN:AMMOOW
7. Архипова З.В. Концепция информационной системы мониторинга уровня развития цифровой экономики // *Baikal Research Journal*. 2018. Т. 9. № 3. С. 8. DOI:10.17150/2411-6262.2018.9(3).8. EDN:TUXJWW
8. Ивинская Е.Ю., Шевко Н.Р., Хисамутдинова Э.Н. Оценка уровня развития информационной экономики на основе учета состояния объектов цифровой инфраструктуры // *Горизонты экономики*. 2020. № 6(59). С. 26–31. EDN:CHVVS
9. Криштаносов В.Б. Угрозы и риски цифровой экономики на секторальном уровне // *Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление*. 2022. № 1(256). С. 28–52. DOI:10.52065/2520-6877-2022-256-1-28-52. EDN:ZOERMC
10. Якимова Т.Б. Цифровая экономика и ее влияние на уровень и качество жизни населения // *Russian Economic Bulletin*. 2022. Т. 5. № 1. С. 245–250. EDN:WYCFMH
11. Viola N., Corpino S., Fioriti M., Stesina F. Functional Analysis in Systems Engineering: Methodology and Applications // In: Cogan B. (ed.) *Systems Engineering – Practice and Theory*. InTech, 2012. PP. 71–96. DOI:10.5772/34556
12. Cutts G. Structured systems analysis and design methodology. 1988. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:108576776> (Accessed 11.09.2025)
13. Dennis A., Wixom B., Tegarden D. *Systems Analysis and Design. An Object-Oriented Approach with UML*. Wiley, 2015.
14. Kharchenko V., Dotsenko S., Ponochoynyi Yu., Illiashenko O. Cybernetic approach to developing resilient systems: Concept, models and application // *Information & Security*. 2020. Vol. 47. Iss. 1. PP. 77–90. DOI:10.11610/isij.4705. EDN:SFHPWS
15. Anderson B.D.O., Vongpanitlerd S. *Network Analysis and Synthesis: A Modern Systems Theory Approach*. Courier Corporation, 2013.
16. Majone G. *Applied Systems Analysis: A Genetic Approach*. 1980.
17. Rosemann M., Green P., Indulska M. A Reference Methodology for Conducting Ontological Analyses // *Proceedings of the 23rd International Conference on Conceptual Modeling* (Shanghai, China, 8–12 November 2004). Berlin; Heidelberg: Springer, 2004. PP. 110–121. DOI:10.1007/978-3-540-30464-7_10
18. Derave T., Sales T.P., Gailly F., Poels G. Understanding Digital Marketplace Business Models: An Ontology Approach // *Proceedings of workshops co-organized with the 14th IFIP WG 8.1 Working Conference on the Practice of Enterprise Modelling (PoEM 2021, Riga, Latvia, 24 November 2021)*. CEUR, 2021. Vol. 3031. PP. 15–26.
19. Armstrong E.M., Bourassa M.A., Cram T.A., DeBellis M., Elya J., Greguska III F.R., et al. An Integrated Data Analytics Platform // *Frontiers in Marine Science*. 2019. Vol. 6. P. 354. DOI:10.3389/fmars.2019.00354
20. Черемухин А.Д., Шамин А.А., Колбанев М.О., Цехановский В.В. Эффективность применения метода SVM в задаче определения рентабельных организаций // *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. 2023. Т. 16. № 4. С. 30–45. DOI:10.32603/2071-8985-2023-16-4-30-45. EDN:BFFLWR
21. Черемухин А.Д., Шамин А.А., Колбанёв М.О., Цехановский В.В. Анализ результативности метода опорных векторов при статистической обработке больших данных // *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. 2021. № 2. С. 58–68. EDN:YKOARK

References

1. Arnold L., Jöhnk J., Vogt F., Urbach N. A Taxonomy of Industrial IoT Platforms' Architectural Features. *Proceedings of the 16th International Conference on Wirtschaftsinformatik "Innovation Through Information Systems. Volume III: A Collection of Latest Research on Management Issues"*, WI 2021, 9–11 March 2021. Lecture Notes in Information Systems and Organisation, vol.48. Cham: Springer; 2021. p.404–421. DOI:10.1007/978-3-030-86800-0_28
2. Diniz E.H., Siqueira E.S., van Heck E. Taxonomy of digital community currency platforms. *Information Technology for Development*. 2019;25(1):69–91. DOI:10.1080/02681102.2018.1485005
3. da Silva Neto V.J., Chiarini T. The Platformization of Science: Towards a Scientific Digital Platform Taxonomy. *Minerva*. 2023;61:1–29. DOI:10.1007/s11024-022-09477-6. EDN:WXTASP
4. Blaschke M., Haki K., Aier S., Winter R. Taxonomy of Digital Platforms: a Platform Architecture Perspective. *Proceedings of*

the 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik, 24–27 February 2019, Siegen, Germany. p.572–586.

5. Kutliev G., Babaev I. Managing the Digital Economy with Artificial Intelligence: A New Level of Efficiency. *Simvol nauki: mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal*. 2024;1(10-2):127–128. (in Russ.) EDN:NVYVIN
6. Glinskiy V.V., Serga L.K. On measurement of the results of the activities of digital economy at the regional level. *Vestnik NSUEM*. 2022;4:219–233. (in Russ.) DOI:10.34020/2073-6495-2022-4-219-233. EDN AMMOOW
7. Arkhipova Z.V. The concept of information system for monitoring digital economy development level. *Baikal Research Journal*. 2018;9(3):8. (in Russ.) DOI:10.17150/2411-6262.2018.9(3).8. EDN:TUXJWW
8. Ivinskaya E.Yu., Shevko N.R., Khisamutdinova E.N. The Assessment of the Level of development of the Information Economy Based on the Status of Digital Infrastructure Objects. *Gorizonty ekonomiki*. 2020;6(59):26–31. (in Russ.) EDN:CHVVS
9. Kryshatanosay V.B. Threats and risks of digital economy at the sectoral level. *Trudy BGTU. Seriya 5, Ekonomika i upravlenie*. 2022;1(256):28–52. (in Russ.) DOI:10.52065/2520-6877-2022-256-1-28-52. EDN:ZOERMC
10. Yakimova T.B. Digital economy and its impact on the level and quality of life population. *Russian Economic Bulletin*. 2022;5(1):245–250. (in Russ.) EDN:WYCFMH
11. Viola N., Corpino S., Fioriti M., Stesina F. Functional Analysis in Systems Engineering: Methodology and Applications. In: *Cogan B. (ed.) Systems Engineering – Practice and Theory*. InTech; 2012. p.71–96. DOI:10.5772/34556
12. Cutts G. *Structured systems analysis and design methodology*. 1988. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:108576776> [Accessed 11.09.20205]
13. Dennis A., Wixom B., Tegarden D. *Systems Analysis and Design. An Object-Oriented Approach with UML*. Wiley; 2015.
14. Kharchenko V., Dotsenko S., Ponochoyni Yu., Illiashenko O. Cybernetic approach to developing resilient systems: Concept, models and application. *Information & Security*. 2020;47(1):77–90. DOI:10.11610/isij.4705. EDN:SFHPWS
15. Anderson B.D.O., Vongpanitlerd S. *Network Analysis and Synthesis: A Modern Systems Theory Approach*. Courier Corporation; 2013.
16. Majone G. *Applied Systems Analysis: A Genetic Approach*. 1980.
17. Rosemann M., Green P., Indulska M. A Reference Methodology for Conducting Ontological Analyses. *Proceedings of the 23rd International Conference on Conceptual Modeling, 8–12 November 2004, Shanghai, China*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2004. p.110–121. DOI:10.1007/978-3-540-30464-7_10
18. Derave T., Sales T.P., Gailly F., Poels G. Understanding Digital Marketplace Business Models: An Ontology Approach. *Proceedings of workshops co-organized with the 14th IFIP WG 8.1 Working Conference on the Practice of Enterprise Modelling, PoEM 2021, 24 November 2021, Riga, Latvia, vol.3031*. CEUR; 2021. p.15–26.
19. Armstrong E.M., Bourassa M.A., Cram T.A., DeBellis M., Elya J., Greguska III F.R., et al. An Integrated Data Analytics Platform. *Frontiers in Marine Science*. 2019;6:354. DOI:10.3389/fmars.2019.00354
20. Cheremukhin A.D., Shamin A.A., Kolbanov M.O., Tsekhanovskii V.V. The Effectiveness of the SVM Method in the Task of Determining Profitable Organizations. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University*. 2023;16(4):30–45. (in Russ.) DOI:10.32603/2071-8985-2023-16-4-30-45. EDN BFFLWR
21. Cheremukhin A.D., Shamin A.A., Kolbanov M.O., Tsekhanovskii V.V. Using SVM to Study Dynamics of Factors Affecting the Profitability of Agricultural Organizations. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University*. 2021;2:58–68. (in Russ.) EDN:YKOARK

Статья поступила в редакцию 11.06.2025; одобрена после рецензирования 23.07.2025; принята к публикации 29.07.2025.

The article was submitted 11.06.2025; approved after reviewing 23.07.2025; accepted for publication 29.07.2025.

Информация об авторах:

ШАМИН Алексей Анатольевич	кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» Нижегородского государственного инженерно-экономического университета  https://orcid.org/0000-0003-4138-6256
КОЛБАНЕВ Михаил Олегович	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  https://orcid.org/0000-0003-4825-6972
ЧЕРЕМУХИН Артем Дмитриевич	кандидат экономических наук, доцент кафедры «Математика и вычислительная техника» Нижегородского государственного инженерно-экономического университета  https://orcid.org/0000-0003-4076-5916

Авторы сообщают об отсутствии конфликтов интересов.

The authors declare no conflicts of interests.