

ИНЖИНИРИНГ ОНТОЛОГИЙ

УДК 004.4

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-3-477-490

**Обеспечение интероперабельности
как межотраслевая наукоёмкая проблема**

© 2026, А.Т. Салбиев

*АНО «Международный альянс стратегических проектов БРИКС» (МАСП-БРИКС), Москва, Россия***Аннотация**

Статья посвящена исследованию интероперабельности как межотраслевой наукоёмкой проблемы и соответствия её критериям отнесения к сквозным технологиям Российской Федерации. Методология исследования включает концептуальный, фактологический, нормативный и прецедентный анализ на основе нормативных правовых актов и международного опыта. Показано, что технология обеспечения интероперабельности обладает научным фундаментом, объединяющим дескрипционные логики, онтологический инжиниринг и формальную верификацию, и нуждается в проведении целенаправленных научно-исследовательских работ. В статье проведён системный анализ интероперабельности как объекта технологической политики; обоснована трёхуровневая функциональная модель технологии обеспечения интероперабельности как базовой технологии семантического веба; выявлены нормативные противоречия между включением технологии обеспечения безопасности и отсутствием технологии обеспечения интероперабельности в сквозных технологиях Российской Федерации. Обоснована четырёхуровневая аргументативная база для разработки технологии обеспечения интероперабельности. Разработан проект дорожной карты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на 2026–2032 годы и консервативная финансовая модель. Результаты исследования обосновывают необходимость включения технологии обеспечения интероперабельности в Перечень сквозных технологий Российской Федерации для обеспечения эффективной цифровой трансформации экономики и государственного управления.

Ключевые слова: интероперабельность, сквозная технология, семантический веб, семантическое согласование, уровень готовности технологии, профиль интероперабельности, онтология.

Цитирование: Салбиев А.Т. Обеспечение интероперабельности как межотраслевая наукоёмкая проблема. *Онтология проектирования*. 2026. Т.16, №3(61). С.477-490. DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-3-477-490.

Благодарности: автор выражает признательность д.т.н., проф. А.Я. Олейникову за конструктивные замечания, а также членам подкомитета ПК-206 «Интероперабельность» ТК-МТС-22 за обсуждение результатов исследования.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Цифровая трансформация экономики и государственного управления вступила в стадию, при которой существенная доля инвестиций направляется не на создание отдельных информационных систем (ИС), а на обеспечение их совместной работы. Интероперабельность перестаёт быть технической проблемой, а приобретает статус стратегического фактора эффективности цифровой инфраструктуры. Однако государственная технологическая политика не содержит системного ответа на этот вызов. Например, Перечень важнейших наукоёмких технологий [1], включает технологии обеспечения информационной безопасности (пп.11, 13 раздела критических технологий), но не содержит технологии обеспечения интероперабель-

ности (ТОИ). Это порождает структурный дисбаланс: безопасность данных обеспечена конкретными технологиями, а их совместное использование технологической поддержки не имеет.

1 Актуальность проблемы интероперабельности

ИС, как, например, система межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ) и единая система идентификации и аутентификации (ЕСИА), решают задачу доставки данных до адресата, но не обеспечивают смысловой интерпретации полученных данных в контексте иной предметной области (ПрО). Наименее проработанной остаётся семантическая составляющая: способность систем понимать и адекватно интерпретировать информацию на основе формальных онтологий. Эту задачу призвана решать ТОИ, понимаемая как совокупность научно и практически обоснованных методов, средств и процессов, обеспечивающих переход от ручного или слабоавтоматизированного онтологического согласования к автоматизированному с формальными гарантиями корректности [2]. Например, Федеральный закон (ФЗ) «Об отдельных вопросах регулирования платформенной экономики в РФ» [3] и проект ФЗ «О технологической платформе создания, развития и эксплуатации информационных систем» [4] содержат требования к интероперабельности, но не обеспечены технологическим инструментарием. Это создаёт разрыв «обязывание без технологии», который мог бы разрешиться включением ТОИ в Перечень сквозных технологий (ПСТ).

Следует терминологически разграничить национальный профиль интероперабельности (НПИ) [5], определяющий, **что** должно быть обеспечено на уровне принципов и архитектуры, и ТОИ, определяющую, **как** обеспечить это на уровне научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). В п.1.1 стандарта [2] единый подход к обеспечению интероперабельности квалифицируется как метатехнология, а ТОИ наполняет этот методологический каркас инженерным содержанием: алгоритмами автоматизированного онтологического отображения, процедурами формальной верификации семантических мостов и методами автоматизированного семантического согласования.

Центральный исследовательский вопрос: удовлетворяет ли ТОИ критериям включения в ПСТ, установленным ФЗ [6] и Постановлением Правительства [7]? Для ответа на этот вопрос необходимо установить, обладает ли ТОИ междотраслевым характером и специфичным научным фундаментом и требуется ли проведение целенаправленных НИОКР. Эти и другие подвопросы соответствуют квалификационным критериям, закреплённым в [7].

Исследование включает концептуальный анализ ключевых дефиниций, фактологический анализ эмпирических данных, нормативно-правовой и сравнительно-прецедентный анализ отечественных и международных актов.

2 Концептуальные основы и терминология

Стандарт [2] определяет интероперабельность как «способность двух или более ИС или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена» (п. 3.1.8). Это определение согласуется с международными стандартами [8, 9], которые определяют интероперабельность как «возможность взаимодействия, обмена данными и совместного использования информации между двумя или более системами или компонентами». В ряде национальных стандартов (например, [10]) контекст интероперабельности распространён на сложные организационно-технические системы. В соответствии с [2, 11, 12] интероперабельность декомпозируется на три уровня (рисунок 1).

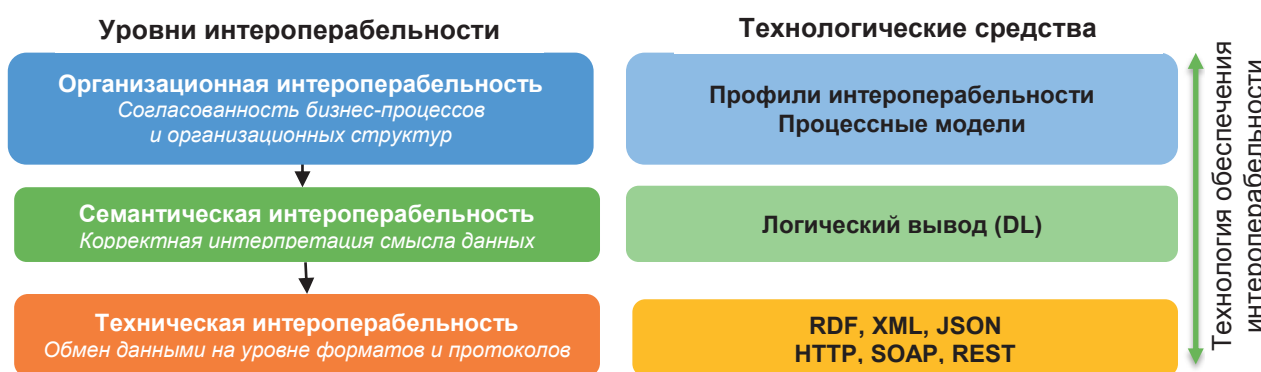


Рисунок 1 – Трёхуровневая модель интероперабельности и технологических средств её обеспечения

Синтаксическая интероперабельность обеспечивает способность систем обмениваться данными на уровне форматов и протоколов передачи. Семантическая интероперабельность гарантирует корректную интерпретацию смысла обмениваемых данных на основе формальных онтологий. Организационная интероперабельность позволяет достичь согласованности бизнес-процессов, правовых и организационных процедур в рамках которых осуществляется обмен. Каждому уровню соответствуют класс задач и набор технологических решений: транспортные протоколы на первом уровне, онтологические модели и механизмы логического вывода на втором, процессные модели и профили интероперабельности на третьем.

Различение транспортной связности и семантической интероперабельности имеет практическое значение. Например, платформы СМЭВ и региональная СМЭВ (РСМЭВ) обеспечивают транспортную связность между ведомственными системами; [13] фиксирует данную задачу как приоритетную; ЕСИА решает задачу аутентификации. При этом семантический разрыв сохраняется: данные доходят до адресата, но требуются их нормализация, перекодировка и интерпретация. Это позволяет определить содержание проблемы, на решение которой направлена ТОИ – смысловое согласование данных после передачи.

Онтология – «формальная явная спецификация концептуализации» [14]. В контексте ТОИ онтологии суть формальные модели ПрО, выраженные на языке дескрипционных логик [15] и реализованные в стандарте *OWL 2*. Профиль интероперабельности [16] определяется как спецификация требований к семантической совместимости единиц производственных возможностей. В ТОИ этот подход расширен до межотраслевого уровня: понятие «единиц производственных возможностей» обобщается до «информационных единиц», семантически значимых компонентов ИС (справочники, классификаторы, онтологии), между которыми устанавливаются отношения эквивалентности или включения.

Семантический мост представляет собой формально специфицированное множество аксиом отображения между сущностями и отношениями двух или более онтологий, обеспечивающее сохранение семантики при преобразовании данных. $B(O_1, O_2) = \{m_1, \dots, m_i, \dots, m_k\}$, где O_1 и O_2 – онтологии ПрО; m_i – аксиома отображения, устанавливающая отношение эквивалентности, включения или обратного включения между сущностями онтологий O_1 и O_2 .

Автоматизированное семантическое согласование определяется как компонент ТОИ, обеспечивающий корректность интерпретации связанных данных в разнородных средах.

НПИ представляет собой комплекс принципов и методологических рекомендаций для достижения интероперабельности на национальном уровне [5]. НПИ должен определять организационные, семантические и технические аспекты обеспечения интероперабельности. Уровень готовности технологии (УГТ) оценивается по девятиуровневой шкале от фундаментальных исследований (УГТ 1) до успешного применения в продуктивной среде (УГТ 9), в соответствии с методикой [7], гармонизированной со стандартом [17].

Различие между интероперабельностью, как свойством систем, и ТОИ, как технологией её обеспечения, структурно аналогично соотношению «свойство: технология его обеспечения». При этом безопасность, как свойство систем, обеспечивается технологиями информационной безопасности, включёнными в ПСТ в разделе критических технологий [1]; транспортная доступность обеспечивается технологиями транспортного уровня; энергоэффективность обеспечивается технологиями энергосбережения. Интероперабельность признана критически важной в десятках нормативных правовых актов и национальных стандартов, но технология её обеспечения в ПСТ отсутствует.

Если интероперабельность трактовать как свойство, то обеспечение интероперабельности становится задачей каждого отдельного ведомства. Такой подход приводит к фрагментации на технологическом уровне: каждое ведомство создаёт собственные локальные решения, которые оказываются несовместимы друг с другом. Формулировка «технология (направление)» в тексте закона [6] подчёркивает допустимость включения в ПСТ как устоявшихся инженерных решений, так и формирующихся научно-технологических направлений.

В [2] представлена последовательность применения организационных инструментов для решения проблемы интероперабельности. ТОИ определяет конкретное инженерное содержание: алгоритмы, программные средства и производственные процессы, обеспечивающие автоматизированное семантическое согласование. ТОИ является практической реализацией стандарта [2], без которой его методологические положения остаются декларативными.

3 Семантическая паутина в технологии обеспечения интероперабельности

Проблема семантической несовместимости ИС отражает технологический переход от синтаксического веба, построенного на принципе связанных документов, к семантическому вебу, основанному на принципе связанных данных [18]. Принципиальное ограничение синтаксического веба состоит в том, что смысловое содержание размещённых в нём данных остаётся машинно-неинтерпретируемым: веб-страницы предоставляют текст и структурированные форматы, но не содержат формальных спецификаций смысла.

Фундаментальный научный вызов состоит в противоречии: экспоненциальный рост объёмов разнородных машиночитаемых данных (в форматах *JSON*, *XML*, *RDF* и др.) сопровождается экспоненциальным ростом семантической неоднородности [19, 20 и др.].

Технологический фундамент семантического веба образуют стандарты Консорциума Всемирной паутины (W3C) [21]. Ключевыми из них являются (см. рисунок 2): *RDF (Resource Description Framework)*, представляющий информацию в виде триплетов «субъект-предикат-объект»; *OWL (Web Ontology Language)*, обеспечивающий применение дескрипционных логик для формализации онтологий; *SPARQL* – язык запросов к *RDF*-графам; *SHACL* для валидации *RDF*-данных; *SWRL* для правил логического вывода. Реализация принципов семантического веба получила развитие в [18]: использование *URI* как идентификаторов объектов; использование *HTTP-URI* для их доступности; предоставление информации в стандарте *RDF*; включение ссылок на *URI* других объектов, обеспечивающее связность данных.

Семантический веб активно внедряется в практику, и для обеспечения обмена данными используются онтологии [22]. В корпоративном секторе базы знаний, построенные на технологиях семантического веба, стали стандартной инфраструктурой крупнейших технологических компаний. Использование открытых международных стандартов, как технической основы, не противоречит задаче обеспечения технологического суверенитета: аналогично национальным технологиям искусственного интеллекта (ИИ), реализуемым с опорой на открытые фреймворки, ТОИ может строиться на открытых стандартах W3C с национальной спецификацией профилей и онтологий.

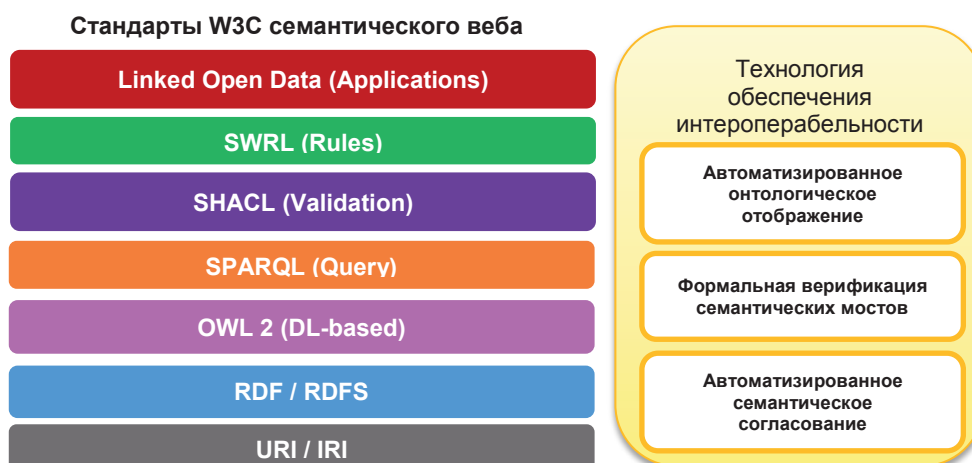


Рисунок 2 – Стандарты W3C и технологии обеспечения интероперабельности

Регламент [23] закрепляет обязательства государств по обеспечению интероперабельности публичных цифровых сервисов, включая семантический уровень. В РФ аналогичные тенденции закреплены в документах [24-26], в которых содержится требование обеспечения семантической интероперабельности в ИС. Разработана методология, включающая модели интероперабельности [12], подходы к профилированию [27], стандартизацию национальных рамочных конструкций [5] и онтологическое отображение в прикладных областях [28, 29].

Онтологии непрерывно эволюционируют, что при десятках ПрО делает ручной подход к изменению их отображений практически неосуществимым. ТОИ нацелена на практическое, формально-верифицируемое согласование в конкретных отраслевых контекстах.

Роль ТОИ в процессе перехода к семантическому вебу раскрывается через три фундаментальные функции.

Автоматизированное онтологическое отображение. На практике ПрО используют различные, зачастую несовместимые онтологии. Например, понятие «пациент» в единой государственной ИС в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) [30] и в региональных медицинских ИС может иметь различный набор атрибутов и связей. Автоматизированное онтологическое отображение устанавливает формальные соответствия (эквивалентность или включение) между сущностями разнородных онтологий, обеспечивая возможность автоматического преобразования данных при сохранении их смысла.

Формальная верификация семантических мостов. Семантические мосты могут порождать логические противоречия (нарушение непротиворечивости, консистентность), что делает их использование недопустимым в критических применениях. ТОИ должна обеспечить автоматическую проверку непротиворечивости результирующей онтологии средствами дескрипционных логик $O_1 \cup B(O_1, O_2) \cup O_2 \neq \perp$, где $B(O_1, O_2)$ – семантический мост между онтологиями; $\neq$ – знак невыводимости; $\perp$ – логическое противоречие.

Автоматизированное семантическое согласование. При объединении данных из разнородных источников неизбежны конфликты интерпретации. Автоматизированное семантическое согласование разрешает или усиливает такие конфликты, обеспечивая корректность результирующего представления данных [31].

4 Межотраслевой характер и наукоёмкость

Каждая отрасль формирует собственную терминологическую систему, онтологии и стандарты обмена данными [32]. В таблице 1 представлены приоритетные отрасли для примене-

ния методов ТОИ с указанием характера семантического разрыва и соответствующей потребности в компонентах технологии. Свидетельством междотраслевого характера ТОИ является структурный изоморфизм: задача обеспечения взаимодействия для любой пары систем сводится к одной и той же фундаментальной проблеме выравнивания онтологий [33].

Таблица 1 – Приоритетные отрасли для применения технологии обеспечения интероперабельности

Отрасль	Семантический разрыв	Потребность в ТОИ
Здравоохранение	Несовместимость концептуальных моделей ЕГИСЗ [30] и региональных медицинских ИС	Онтологическое отображение медицинских терминов; верификация семантических мостов
Государственное управление	Различие ведомственных моделей данных; отсутствие семантического слоя в СМЭВ [13, 34]	Профили интероперабельности для модернизации СМЭВ
Промышленность	Несогласованность моделей; отсутствие производственных онтологий [32, 35]	Автоматизированное отображение производственных онтологий
Транспорт	Терминологические различия между подсистемами; отсутствие транспортной онтологии [36]	Единая транспортная онтология; профили мультимодальных перевозок
Финансовый сектор	Несовместимость форматов отчетности; различие семантики транзакций [37, 38]	Онтологическое отображение финансовых терминов
Оборона	Несовместимость моделей; семантические разрывы в сетевых системах [28, 29, 39]	Профили интероперабельности для сетевых систем

Формально изоморфизм проявляется в том, что задача обеспечения взаимодействия для любой пары систем из таблицы 1 сводится к установлению отношения эквивалентности ($\equiv$) или включения ($\subseteq$) между сущностями двух онтологий. Например, в финансовом секторе стандарты [38] и форматы Банка России [37] задают синтаксис обмена, но не обеспечивают семантическую совместимость каталогов финансовых продуктов; в транспортной отрасли аналогичная проблема возникает при согласовании онтологий логистических и портовых операторов [36]; в здравоохранении «Пациент» в онтологии ЕГИСЗ O_1 соответствует «Зарегистрированному лицу» в онтологии региональной медицинской ИС O_2 , что требует вывода аксиомы $O_1:\text{Пациент} \equiv O_2:\text{Зарегистрированное_лицо}$. Это единство метода, инвариантного к PrO , позволяет квалифицировать ТОИ как сквозную технологию.

Существует также провал координации между государственными заказчиками: каждое ведомство не заинтересовано в выделении средств на решение задач, полезный эффект от которых будет распределяться между всеми ведомствами. Включение ТОИ в ПСТ способно сформировать принципиально новый рынок услуг в области семантической интероперабельности для государственных и корпоративных ИС.

Научный фундамент ТОИ объединяет математическую логику [15], информатику, системную инженерию [40, 41] и информационное право [23]. Для признания наукоёмкости, согласно [7] требуется соответствие хотя бы одному из критериев. Научный фундамент ТОИ удовлетворяет всем четырём: требует специфических знаний, подтверждаемых наличием профильных научных школ; признан научным сообществом (см. например, [12]); содержит новые закономерности междисциплинарного характера; создаёт охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (см. например, [42, 43]). Дополнительным подтверждением служит участие школы ПК-206 в [22].

Необходимость государственной поддержки ТОИ обусловлена разрывом между текущим УГТ и уровнем, необходимым для промышленного внедрения. Основные компоненты ТОИ находятся в диапазоне УГТ 3–5 (таблица 2), что соответствует стадии формирующегося направления: лабораторные прототипы продемонстрировали работоспособность в контролируемых условиях, но промышленное внедрение не достигнуто. Целевой УГТ 7–8 соответствует промышленной зрелости и успешной апробации в реальных условиях.

Таблица 2 – Оценки уровня готовности технологий для технологии обеспечения интероперабельности

Компонент ТОИ	Текущий УГТ	Описание состояния	Целевой УГТ
Онтологическое отображение	4–5	Лабораторные прототипы; верификация на 3–4 предметных областях	7–8
Формальная верификация семантических мостов	4	Методы разработаны; апробация на модельных данных	7
Профили интероперабельности	5	Эталонные профили для двух отраслей; частичная стандартизация	8
Автоматизированное семантическое согласование	3–4	Концептуальная модель и прототип алгоритма	7
Интегрированная платформа ТОИ	3	Архитектура спроектирована; компоненты не интегрированы	8

Наличие разрыва между текущим УГТ 3–5 и целевым УГТ 7–8 является индикатором объективной потребности в целенаправленных НИОКР. Включение технологий на ранних стадиях зрелости имеет международную практику: в программе [44] УГТ 5–6 рассматривается как типичная точка входа для инновационных проектов, а в [45] УГТ 4–6 характеризуется как зона концептуального доказательства. Оценки УГТ приведены в соответствии с методикой, утверждённой [7] и гармонизированной с [17].

Переход от УГТ 3–5 к УГТ 8 требует преодоления четырёх разрывов: 1) масштабирование автоматизированного согласования онтологий с 3–4 до 10–15 ПрО; 2) разработка процедур верификации семантических мостов с формальными гарантиями корректности; 3) создание алгоритмов автоматизированного семантического согласования для конфликтных ситуаций в отраслевых контекстах; 4) разработка метрик и инструментов мониторинга интероперабельности. Согласно [7] перспективность обосновывается глобальным вектором эволюции информационной инфраструктуры в сторону семантического веба и соответствием [46]. По мере роста объёма машиночитаемых данных семантическая несовместимость будет обостряться, что делает инвестиции в ТОИ стратегически оправданными.

5 Нормативная база

Проведённый анализ свидетельствует о наличии обширной, но несогласованной нормативной базы, требующей систематизации на основе единой технологической платформы путём разработки ТОИ. Например: в [47] констатируется необходимость «разработки форматов интероперабельности с международными эквивалентами» без указания конкретных технологических средств; в [48] в качестве требования указано «Обеспечение семантической интероперабельности с внешними медицинскими ИС», но без определения метода обеспечения; в [49] создана правовая основа информационного обмена конкретных требований к семантической составляющей; в [50] технические требования к взаимодействию в СМЭВ включают требования к профилям интероперабельности без указания единой технологической платформы; в [3] предписано обеспечивать цифровые платформы равным и беспрепятственным доступом пользователей, что предполагает семантическую совместимость каталогов товаров и услуг без указания механизма её достижения.

В проектах законов [4, 51] наращиваются обязательства в сфере интероперабельности, но технологический инструментарий их реализации отсутствует.

Регламент [23] является обязывающим нормативным актом, регулирующим интероперабельность публичных цифровых сервисов на наднациональном уровне. Оценки [52] показывают, что совокупные издержки от фрагментации и несовместимости в различных областях могут составлять значительные макроэкономические величины и не могут игнорироваться при формировании технологической политики. ЕС перешёл от рекомендаций к обязыванию, тогда как в РФ рамочная конструкция остаётся добровольной и не подкреплена механизмами контроля. Аналогичная тенденция наблюдается в странах БРИКС.

ТОИ может стать экспортно-ориентированной технологией для трансграничных цифровых экосистем БРИКС [53], что коррелирует с задачей технологического суверенитета [54].

Законами [6, 55] создаётся правовое пространство для тестирования инновационных технологий без необходимости немедленного изменения общего регулирования. Это соответствует принципам регуляторной политики [56] и достаточно для поэтапного масштабирования ТОИ без дополнительного изменения законодательства.

6 Архитектурная интеграция

ТОИ является горизонтальной технологией-интегратором и создаётся для обеспечения бесшовной семантической интеграции данных. Указанные в таблице 3 технологии оперируют интерпретированными данными и без формализованного семантического слоя не могут обеспечить корректность взаимодействия. Например, для цифровых двойников [57] требуется семантическое согласование моделей изделий, а для распределённых реестров [58] – интероперабельность смарт-контрактов.

Таблица 3 – Сквозные технологии, для которых семантическое согласование критично

Сквозная технология	Признаки критичности	Функционал ТОИ
Технологии ИИ	Семантическое согласование обучающих данных	Онтологическое отображение источников; верификация семантических мостов
Технологии кибербезопасности	Интероперабельность систем обнаружения вторжений	Профили интероперабельности для платформ обмена информацией о киберугрозах
Цифровые двойники	Онтологическое отображение моделей предметных областей	Автоматизированное отображение онтологий; верификация корректности интеграции
Технологии распределённых реестров	Интероперабельность смарт-контрактов между платформами	Профили для межплатформенных транзакций; семантические мосты
Робототехника	Семантическая интероперабельность гетерогенных робототехнических систем	Профили интероперабельности для межплатформенного взаимодействия

Для перехода от текущего УТГ 3–5 к целевому УТГ 8 требуется выполнение НИОКР (см. таблицу 4). Представленная дорожная карта и бюджетные оценки являются индикативными и составлены на основе экспертных заключений и анализа международного опыта.

Таблица 4 – Дорожная карта реализации программы НИОКР

Этап	Период	Цель	Ключевые задачи	Целевой УТГ	Бюджет (млн руб.)
I. Фундаментальные исследования и прототипирование	2026–2028	Создание научного задела и лабораторных прототипов	Разработка методов автоматизированного онтологического отображения; верификация на 3–4 предметных областях	5–6	120–160
II. Прикладные разработки и пилотирование	2028–2030	Демонстрация работоспособности	Масштабирование на 10–15 предметных областей; пилотное внедрение через СМЭВ	6–7	230–310
III. Стандартизация и промышленное внедрение	2030–2032	Достижение промышленной зрелости	Разработка 5–7 стандартов; внедрение в федеральные платформы; формирование рынка услуг	8	185–310

Целевыми ориентирами являются показатели, предусмотренные для сквозных технологий [7, 59, 60]: к концу этапа III обеспечить автоматизированное семантическое согласование для не менее чем 10–15 ПрО, снизив зависимость от зарубежных решений. Архитектурная интеграция со СМЭВ [34] предполагает двухуровневую модель: СМЭВ обеспечивает транс-

портный уровень, ТОИ реализует семантический уровень. Интеграция реализуется путём добавления семантического сервиса: на этом уровне предлагается развернуть модуль автоматизированного семантического согласования, разрешающий конфликты интерпретации в реальном времени. Следует разграничить ТОИ и Национальную систему управления данными (НСУД) [61]: функционал НСУД сосредоточен на каталогизации и паспортизации данных, тогда как ТОИ формирует отсутствующий семантический слой над инфраструктурой НСУД, предоставляя возможность автоматизированного согласования смысла каталогизированных данных. НСУД отвечает на вопрос: «Какие данные есть?»; ТОИ – на вопрос: «Что они значат в контексте иной Про?»

Заключение

Проведённый анализ позволяет сформулировать основные выводы.

- Проблема интероперабельности носит преимущественно семантический характер, смысловое согласование данных между разнородными системами остаётся ручным и неконтролируемым.
- ТОИ удовлетворяет квалификационным критериям сквозной технологии, установленным [6, 7]. Ведомства не заинтересованы в самостоятельном финансировании ТОИ: полезный эффект от семантического согласования распределяется между всеми участниками обмена, что обуславливает необходимость системной государственной поддержки.
- ТОИ является горизонтальной технологией-интегратором для существующих сквозных технологий, обеспечивая семантическую совместимость данных.
- Включение ТОИ в ПСТ является необходимым условием эффективной цифровой трансформации экономики и государственного управления.

Настоящее исследование имеет ряд ограничений: анализ межотраслевой фрагментации основан на шести отраслях и не претендует на исчерпывающую полноту; оценка УТГ основана на экспертных оценках, и требуется её формализованная верификация.

Список источников

- [1] Указ Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий». *Собрание законодательства РФ*. 2024. № 26. Ст. 3640.
- [2] ГОСТ Р 55062-2021. Информационные технологии. Интероперабельность. Основные положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021.
- [3] Федеральный закон от 31.07.2025 № 289-ФЗ «Об отдельных вопросах регулирования платформенной экономики в Российской Федерации». *Собрание законодательства РФ*. 2025. № 31. Ст. 5210.
- [4] Проект Федерального закона № 1076648-8 «О технологической платформе создания, развития и эксплуатации информационных систем» (внесен Правительством РФ). <https://sozd.duma.gov.ru/bill/1076648-8>.
- [5] **Салбиев А.Т.** Интероперабельность: основа экономики данных: монография. М.: ИД «Стафеев и К»; СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. 494 с. DOI: 10.18720/SPBPU/2/id25-591.
- [6] Федеральный закон от 28.12.2024 № 523-ФЗ «О технологической политике в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». *Собрание законодательства РФ*. 2024. № 52 (ч. I). Ст. 8003.
- [7] Постановление Правительства РФ от 06.10.2025 № 1552 «О планировании технологической политики в Российской Федерации». *Собрание законодательства РФ*. 2025. № 41. Ст. 7002.
- [8] ISO/IEC 2382:2015. Information technology: Vocabulary. Geneva: ISO, 2015.
- [9] ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering: Vocabulary. Geneva: ISO, 2017.
- [10] ГОСТ Р 59796-2021. Информационные технологии. Интероперабельность. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2021.
- [11] Levels of Information Systems Interoperability (LISI). C4ISR Architecture Working Group. Washington, D.C.: Department of Defense, 1998.

- [12] Макаренко С.И., Олейников А.Я., Черницкая Т.Е. Модели интероперабельности информационных систем. *Системы управления, связи и безопасности*. 2019. № 4. С. 215–245. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408.
- [13] Паспорт федерального проекта «Цифровое государственное управление». Утв. президиумом Правительственной комиссии по цифровому развитию, протокол от 28.05.2019, №9.
- [14] Gruber T.R. A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*. 1993. Vol.5, No.2. P.199–220. DOI: 10.1006/knac.1993.1008.
- [15] Baader F., Calvanese D., McGuinness D., Nardi D., Patel-Schneider P. (eds.). *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [16] ГОСТ Р 71778.1-2024 (ИСО 16300-1:2018). Умное производство. Интероперабельность единиц производственных возможностей. Часть 1. Критерии интероперабельности. М.: Рос. ин-т стандартизации, 2024.
- [17] ГОСТ Р 58048-2017. Трансфер технологий. Оценка уровня зрелости технологий. Методические указания. М.: Стандартинформ, 2017.
- [18] Bizer C., Heath T., Berners-Lee T. Linked Data: The Story So Far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*. 2009. Vol. 5, No. 3. P. 1–22. DOI: 10.4018/jswis.2009081901.
- [19] Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The Semantic Web. *Scientific American*. 2001. Vol.284, No.5. P.34–43. DOI: 10.1038/scientificamerican0501-34.
- [20] Berners-Lee T., Hall W., Hendler J., O'Hara K., Shadbolt N., Weitzner D.J. A Framework for Web Science. *Foundations and Trends in Web Science*. 2006. Vol. 1, No. 1. P. 1–130. DOI: 10.1561/18000000001.
- [21] W3C. Semantic Web Standards (RDF, OWL, SPARQL, SHACL, SWRL). URL: <https://www.w3.org/standards/semanticweb/> (дата обращения: 23.04.2026).
- [22] International Data Spaces Association (IDSA). Reference Architecture Model, Version 4.0. Dortmund: IDSA, 2023.
- [23] Regulation (EU) 2024/903 of the European Parliament and of the Council of 13 March 2024 (Interoperable Europe Act). Official Journal of the European Union. 2024. L 177, P. 1–47.
- [24] Стратегия развития рынка больших данных 2030. М.: Ассоциация больших данных, 2025. <https://rubda.ru/deyatelnost/strategiya/> (дата обращения: 23.04.2026).
- [25] Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации». *Собрание законодательства РФ*. 2019. № 41. Ст. 5700.
- [26] Распоряжение Правительства РФ от 20.05.2023 № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года».
- [27] Баишыкова А.А., Каменников А.А., Олейников А.Я. О подходах к разработке профилей интероперабельности в военной области. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2017. №4. С.112–121.
- [28] NATO Science and Technology Organization. C2SIM Lecture Series: Simulation Interoperability Standards. Brussels: NATO STO, 2020.
- [29] Макаренко С.И. Интероперабельность организационно-технических систем. Санкт-Петербург: Издательство: Научные технологии. 2024. 313 с.
- [30] Концепция создания единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ): утв. Приказом Минздравсоцразвития РФ от 28.04.2011 №364. М.: Минздравсоцразвития, 2011.
- [31] Коммюнике Онтологического Саммита 2016. Онтологии в семантически интероперабельных экосистемах. *Онтология проектирования*, Т.6, №2, 2016, с.241–247. *Ontology Summit 2016 Communique. Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems*. <http://ontologforum.org/index.php/OntologySummit2016/Communique>.
- [32] ГОСТ Р МЭК 62264-1-2014. Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология. М.: Стандартинформ, 2014.
- [33] Euzenat J., Shvaiko P. *Ontology Matching*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2013.
- [34] Постановление Правительства РФ от 08.09.2010 № 697 «О единой системе межведомственного электронного взаимодействия» (ред. от 23.04.2026). *Собрание законодательства РФ*. 2010. № 37. Ст. 4683.
- [35] ГОСТ Р 70992-2023. Цифровая промышленность. Интеграция и интероперабельность систем. Термины и определения. М.: Российский институт стандартизации, 2023.
- [36] Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 27.11.2021 № 3363-р.
- [37] Положение Банка России от 29.12.2018 № 5032-У «О форматах электронных документов, применяемых при взаимодействии Банка России с кредитными организациями».
- [38] ISO 20022:2013. Financial services: Universal financial industry message scheme. Geneva: ISO, 2013.
- [39] ГОСТ Р 70569-2022. Информационные технологии. Сетецентрические информационно-управляющие системы. Интероперабельность. М.: Российский институт стандартизации, 2022.
- [40] ГОСТ Р ИСО 11354-2-2016. Усовершенствованные автоматизированные технологии. Требования к установлению интероперабельности процессов. Часть 2. Модель зрелости. М.: Стандартинформ, 2016.
- [41] Department of Defense Architecture Framework (DoDAF), Version 2.02. Washington, D.C.: DoD, 2010.

- [42] Патент № 2406117 С2 РФ, МПК G06F 13/00. Автоматизированная информационная система для придания совместимости программно-аппаратным компонентам / **Батоврин В.К.** [и др.]; заявитель и патентообладатель ИРЭ РАН. № 2008144386; заявл. 10.11.2008; опубл. 27.10.2010.
- [43] Патент № 2656841 С2 РФ, МПК G06F 17/00. Способ построения единого информационного пространства на основе обеспечения интероперабельности / **Олейников А.Я.** [и др.]; заявитель ИРЭ РАН. № 2017123456; заявл. 04.07.2017; опубл. 12.06.2018.
- [44] European Commission. Horizon Europe Work Programme 2023–2025: Cluster 4. Brussels: EC, 2023.
- [45] U.S. Government Accountability Office. Technology Readiness Assessment Guide: Best Practices. GAO-20-48G. Washington, D.C.: GAO, 2020.
- [46] Программа фундаментальных научных исследований Российской Федерации на 2021–2030 годы: утв. распоряжением Правительства РФ от 31.12.2020 № 3684-р.
- [47] Распоряжение Правительства РФ от 10.05.2014 № 793-р «Об утверждении Концепции методологии систематизации и кодирования информации» (ред. от 13.10.2017).
- [48] Методические рекомендации по обеспечению функциональных возможностей МИС МО. Утв. Минздравом России 01.02.2016.
- [49] Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» (ред. от 28.12.2024). *Собрание законодательства РФ*. 2006. № 31 (ч. I). Ст. 3448.
- [50] Приказ Минкомсвязи России от 23.06.2015 № 210 «Об утверждении Технических требований к взаимодействию ИС в СМЭВ». Зарег. в Минюсте России 25.08.2015 № 38668.
- [51] Проект Федерального закона «Об основах государственного регулирования сфер применения технологий искусственного интеллекта в Российской Федерации» (публичное обсуждение 18.03.2026). <https://regulation.gov.ru/projects#npa=143702>.
- [52] European Parliamentary Research Service. Europe's Two Trillion Euro Dividend: Mapping the Cost of Non-Europe, 2019–2024. Brussels: EPRS, 2020.
- [53] BRICS Digital Economy Partnership Framework. 2022. <https://www.brics2022.mfa.gov.cn/eng/>.
- [54] UN General Assembly. Resolution A/RES/79/1 «The Pact for the Future». New York: UN, 2024.
- [55] Федеральный закон от 31.07.2020 № 258-ФЗ «Об экспериментальных правовых режимах в сфере цифровых и технологических инноваций» (ред. от 28.12.2024). *Собрание законодательства РФ*. 2020. № 31 (ч. I). Ст. 5012.
- [56] Федеральный закон от 24.04.2020 № 123-ФЗ «О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания среды для внедрения технологий ИИ в г. Москве». *Собрание законодательства РФ*. 2020. № 17. Ст. 2705.
- [57] ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021.
- [58] ISO/TR 23455:2019. Blockchain and distributed ledger technologies: Overview of and interactions between smart contracts. Geneva: ISO, 2019.
- [59] Постановление Правительства РФ от 31.07.2025 № 1141 «Об отдельных вопросах развития сквозных технологий». *Собрание законодательства РФ*. 2025. № 31. Ст. 4835.
- [60] Постановление Правительства РФ от 05.12.2025 № 1990 «О целевых показателях в области технологической политики». *Собрание законодательства РФ*. 2025. № 51. Ст. 8157.
- [61] Постановление Правительства РФ от 14.05.2021 № 733 «О национальной системе управления данными» (ред. от 24.03.2026). *Собрание законодательства РФ*. 2021. № 20. Ст. 3432.

Сведения об авторе

Салбиев Алан Тасолтанович, 1981 г. рождения. Окончил Северо-Кавказский государственный технологический университет (2003), к.т.н. (2006). Вице-президент МАСП БРИКС по международному технологическому сотрудничеству. Член рабочей группы подкомитета ПК-206 «Интероперабельность» технического комитета по стандартизации ТК-МТС-22 «Информационные технологии». Автор научной монографии «Интероперабельность – основа экономики данных». Область научных интересов: интероперабельность информационных систем, онтологический инжиниринг, семантический веб, стандартизация. Author ID (РИНЦ): 1635-6440; Researcher ID (WoS): OUK-2934-2025; ORCID 0009-0005-6185-5664. AlanSalbiev@yandex.ru.



Поступила в редакцию 30.05.2026, после рецензирования 08.06.2026. Принята к публикации 15.06.2026.



Ensuring interoperability as a cross-sectoral knowledge-intensive challenge

© 2026, A.T. Salbiev

ANO "International Alliance of BRICS Strategic Projects" (IASP-BRICS), Moscow, Russia

Abstract

This article explores interoperability as a cross-sectoral, knowledge-intensive challenge and assesses its compliance with the criteria for classification as a cross-cutting technology in the Russian Federation. The research methodology includes conceptual, factual, regulatory, and case-based analysis grounded in legal and regulatory documents as well as international experience. The study demonstrates that ensuring interoperability is based on a scientific foundation integrating description logics, ontology engineering, and formal verification, and therefore requires dedicated research and development efforts. A systematic analysis of interoperability as an object of technology policy is conducted. A three-level functional model for ensuring interoperability is substantiated, considering it as a foundational technology of the Semantic Web. The study also identifies regulatory inconsistencies arising from the inclusion of security technologies and the absence of interoperability technologies in the current list of Russian cross-cutting technologies. A four-level argumentation framework supporting the development of interoperability technologies is proposed. In addition, a draft roadmap for research and development activities covering the period 2026–2032, together with a conservative financial model, has been developed. The findings substantiate the necessity of including interoperability technology in the List of Cross-Cutting Technologies of the Russian Federation to ensure effective digital transformation of the economy and public administration.

Keywords: interoperability, cross-cutting technology, Semantic Web, semantic alignment, technology readiness level, interoperability profile, ontology.

For citation: Salbiev AT. Ensuring interoperability as a cross-sectoral knowledge-intensive challenge [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2026; 16(3): 477-490. DOI: 10.18287/2223-9537-2026-16-3-477-490.

Acknowledgments: The author expresses sincere gratitude to Doctor of Technical Sciences, Professor A.Ya. Oleynikov for his constructive comments, as well as to the members of Subcommittee PC-206 "Interoperability" of Technical Committee TC-MTS-22 for Information Technologies for their discussion of the research results.

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures and tables

Figure 1 – Three-level model of interoperability and the technological means supporting it

Figure 2 – W3C standards and interoperability technologies

Table 1 – Priority sectors for the application of interoperability technologies

Table 2 – Technology readiness level assessments for interoperability technologies

Table 3 – Cross-cutting technologies dependent on semantic alignment

Table 4 – R&D program implementation roadmap

References

- [1] Decree of the President of the Russian Federation No. 529 of 18.06.2024 "On the approval of priority areas of scientific and technological development and the list of critical knowledge-intensive technologies" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2024; 26: 3640.
- [2] GOST R 55062-2021. Information technology. Interoperability. General principles [In Russian]. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2021.
- [3] Federal Law No. 289-FZ of 31.07.2025 "On certain issues of regulation of the platform economy in the Russian Federation" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2025; 31: 5210.
- [4] Draft Federal Law No. 1076648-8 "On the technological platform for the creation, development, and operation of information systems" [In Russian]. Submitted by the Government of the Russian Federation. Available from: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/1076648-8>

- [5] **Salbiev AT.** Interoperability is the basis of the data economy: monograph [In Russian]. Moscow; St. Petersburg: POLITEKH-PRESS; 2025. 494 p. DOI: 10.18720/SPBPU/2/id25-591.
- [6] Federal Law No. 523-FZ of 28.12.2024 "On technological policy in the Russian Federation" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2024; 52(Pt. I): 8003.
- [7] Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1552 of 06.10.2025 "On planning technological policy in the Russian Federation" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2025; 41: 7002.
- [8] ISO/IEC 2382:2015. Information technology: Vocabulary. Geneva: ISO; 2015.
- [9] ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering: Vocabulary. Geneva: ISO; 2017.
- [10] GOST R 59796-2021. Information technology. Interoperability. Terms and definitions [In Russian]. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2021.
- [11] Levels of Information Systems Interoperability (LISI). C4ISR Architecture Working Group. Washington, DC: Department of Defense; 1998.
- [12] **Makarenko SI, Oleynikov AYa, Chernitskaya TE.** Models of interoperability assessment for information systems [In Russian]. *Systems of Control, Communications and Security*. 2019; 4: 215-245. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408.
- [13] Passport of the federal project "Digital Public Administration" [In Russian]. Approved by the Presidium of the Government Commission on Digital Development, Protocol No. 9 of 28.05.2019.
- [14] **Gruber TR.** A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*. 1993; 5(2): 199-220. DOI: 10.1006/knac.1993.1008.
- [15] **Baader F, Calvanese D, McGuinness D, Nardi D, Patel-Schneider P,** editors. The Description Logic Handbook. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2007.
- [16] GOST R 71778.1-2024 (ISO 16300-1:2018). Smart manufacturing. Interoperability of capability units. Part 1. Interoperability criteria [In Russian]. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2024.
- [17] GOST R 58048-2017. Technology transfer. Technology readiness assessment. Guidelines [In Russian]. Moscow: Standartinform; 2017.
- [18] **Bizer C, Heath T, Berners-Lee T.** Linked Data: The Story So Far. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*. 2009; 5(3): 1-22. DOI: 10.4018/jswis.2009081901.
- [19] **Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O.** The Semantic Web. *Scientific American*. 2001; 284(5): 34-43. DOI: 10.1038/scientificamerican0501-34.
- [20] **Berners-Lee T, Hall W, Hendler J, O'Hara K, Shadbolt N, Weitzner DJ.** A Framework for Web Science. *Foundations and Trends in Web Science*. 2006; 1(1): 1-130. DOI: 10.1561/18000000001.
- [21] W3C. Semantic Web Standards. Available at: <https://www.w3.org/standards/semanticweb/> (accessed April 23, 2026).
- [22] International Data Spaces Association (IDSA). Reference Architecture Model, Version 4.0. Dortmund: IDSA; 2023.
- [23] Regulation (EU) 2024/903 of the European Parliament and of the Council (Interoperable Europe Act). *Official Journal of the European Union*. 2024; L 177: 1-47.
- [24] Big Data Market Development Strategy 2030 [In Russian]. Moscow: Big Data Association; 2025. <https://rubda.ru/deyatelnost/strategiya/>. (accessed April 23, 2026).
- [25] Decree of the President of the Russian Federation No. 490 of 10.10.2019 "On the development of artificial intelligence in the Russian Federation" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2019; 41: 5700.
- [26] Order of the Government No. 1315-r of 20.05.2023 "On approval of the Concept of technological development for the period up to 2030" [In Russian].
- [27] **Bashlykova AA, Kamenshchikov AA, Oleynikov AYa.** On approaches to the development of interoperability profiles in the military field [In Russian]. *Information Technologies and Computing Systems*. 2017; 4: 112-121.
- [28] NATO Science and Technology Organization. C2SIM Lecture Series. Brussels: NATO STO; 2020.
- [29] **Makarenko SI.** Interoperability of Organizational-Technical Systems [In Russian]. St. Petersburg: Naukaemkie Tekhnologii Publishing House, 2024. 313 p.
- [30] Concept of the Unified State Health Information System (USHIS) [In Russian]. Order of the Ministry of Health No. 364 of 28.04.2011.
- [31] Ontology Summit 2016 Communiqué. Ontologies within Semantic Interoperability Ecosystems. *Ontology of Designing*. 2016; 6(2): 241–247. Available at: <http://ontologyforum.org/index.php/OntologySummit2016/Communique>.
- [32] GOST R IEC 62264-1-2014. Enterprise-control system integration. Part 1. Models and terminology [In Russian]. Moscow: Standartinform; 2014.
- [33] **Euzenat J, Shvaiko P.** Ontology Matching. 2nd ed. Berlin: Springer; 2013.
- [34] Resolution of the Government of the Russian Federation No. 697 of 08.09.2010 "On the unified system of interdepartmental electronic interaction" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2010; 37: 4683.
- [35] GOST R 70992-2023. Digital industry. System integration and interoperability. Terms and definitions [In Russian]. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2023.
- [36] Transport Strategy of the Russian Federation up to 2030 with a forecast period up to 2035 [In Russian]. Order of the Government No. 3363-r of 27.11.2021.
- [37] Regulation of the Bank of Russia No. 5032-U of 29.12.2018 On formats of electronic documents used in interactions between the Bank of Russia and credit institutions [In Russian].
- [38] ISO 20022:2013. Financial services: Universal financial industry message scheme. Geneva: ISO; 2013.
- [39] GOST R 70569-2022. Information Technology. Network-Centric Information and Control Systems. Interoperability [In Russian]. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2022.

- [40] GOST R ISO 11354-2-2016. Advanced automation technologies and their applications. Requirements for establishing process interoperability. Part 2. Maturity model [In Russian]. Moscow: Standartinform; 2016.
 - [41] Department of Defense Architecture Framework (DoDAF), Version 2.02. Washington, DC: DoD; 2010.
 - [42] Patent No. 2406117 C2, RF. Automated information system for achieving compatibility of hardware and software components [In Russian]. *Batovrin VK* et al. 2010.
 - [43] Patent No. 2656841 C2, RF. Method for constructing a unified information space based on interoperability assurance [In Russian]. *Oleynikov AYa* et al. 2018.
 - [44] European Commission. Horizon Europe Work Programme 2023-2025: Cluster 4. Brussels: EC; 2023.
 - [45] U.S. Government Accountability Office. Technology Readiness Assessment Guide. GAO-20-48G. Washington, DC: GAO; 2020.
 - [46] Program of Fundamental Scientific Research of the Russian Federation 2021-2030 [In Russian]. Order of the Government No. 3684-r of 31.12.2020.
 - [47] Directive of the Government No. 793-r of 10.05.2014 "On approval of the Concept of methodology for information systematization and coding" [In Russian].
 - [48] Guidelines for ensuring functional capabilities of medical information systems. Approved of the Ministry of Health [In Russian]. 01.02.2016.
 - [49] Federal Law No. 149-FZ of 27.07.2006 "On information, information technologies and information protection" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2006; 31(Pt. I): 3448.
 - [50] Order of the Ministry of Communications of the Russian Federation No. 210 of 23.06.2015. On Approval of Technical Requirements for Information System Interaction within SMEV [In Russian].
 - [51] Draft Federal Law "On the Foundations of State Regulation of Artificial Intelligence Application Areas in the Russian Federation" [In Russian]. Public discussion 18.03.2026. Available at: <https://regulation.gov.ru/projects#npa=143702>.
 - [52] European Parliamentary Research Service. Europe's Two Trillion Euro Dividend. Brussels: EPRS; 2020.
 - [53] BRICS Digital Economy Partnership Framework. 2022.
 - [54] UN General Assembly. Resolution A/RES/79/1 "The Pact for the Future". New York: UN; 2024.
 - [55] Federal Law No. 258-FZ of 31.07.2020 "On experimental legal regimes in the sphere of digital and technological innovations" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2020; 31(Pt. I): 5012.
 - [56] Federal Law No. 123-FZ of 24.04.2020 On Conducting an Experiment to Establish Special Regulation for Creating an Environment for the Development and Implementation of Artificial Intelligence Technologies in Moscow. [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2020; 17: 2705.
 - [57] GOST R 57700.37-2021. Computer models and simulation. Digital twins. General principles [In Russian]. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2021.
 - [58] ISO/TR 23455:2019. Blockchain and DLT: Overview of smart contracts. Geneva: ISO; 2019.
 - [59] Resolution of the Government No. 1141 of 31.07.2025 "On certain issues of cross-cutting technology development" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2025; 31: 4835.
 - [60] Resolution of the Government No. 1990 of 05.12.2025 "On target indicators in the field of technology policy [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2025; 51: 8157.
 - [61] Resolution of the Government No. 733 of 14.05.2021 "On the national data management system" [In Russian]. *Collection of Legislation of the Russian Federation*. 2021; 20: 3432.
-

About the author

Alan Tasoltanovich Salbiev (b. 1981) graduated from the North Caucasus State Technological University (2003), Candidate of Technical Sciences (2006). Vice-President for International Technological Cooperation of the BRICS International Alliance of Strategic Projects (BRICS IASP). Member of the working group of Subcommittee PC-206 "Interoperability" of Technical Committee for Standardization TC-MTS-22 "Information Technologies". Author of the scientific monograph "Interoperability: the Foundation of the Data Economy". Research interests include interoperability of information systems, ontology engineering, the Semantic Web, and standardization. Author ID (RSCI): 1635-6440; Researcher ID (WoS): OUK-2934-2025; ORCID: 0009-0005-6185-5664. AlanSalbiev@yandex.ru.

Received May 30, 2026. Revised June 08, 2026. Accepted June 15, 2026.
