

ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА ЛАБОРАТОРИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ: СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СПОСОБ ОЦЕНКИ

Посельская Ю. В., Ченцов С. В.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», 660041, Россия, Красноярский край, г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79, e-mail: p.yu.v78@bk.ru

В статье представлены результаты исследования проблемы интероперабельности компонентов системы менеджмента компетентной лаборатории (СМКЛ) в процессе цифровой трансформации. Проблема интероперабельности – важный аспект автоматизации процессов лабораторной деятельности, требующий комплексного подхода и специальной научно-методической проработки как на этапе внедрения ЛИМС, так и на перспективу взаимодействия с различными внешними цифровыми экосистемами. Объектом исследования в данной работе является СМКЛ в условиях цифровой трансформации. Предмет исследования – интероперабельность компонентов СМКЛ при интеграции элементов цифровой стандартизации. Цель работы – количественная оценка семантической интероперабельности компонентов СМКЛ как характеристики суммарного потенциала ценности при проектировании цифрового эталона системы менеджмента компетентной лаборатории (ЦЭСМКЛ). Задачи работы: определение критических сущностей объекта исследования в текущем и перспективном состояниях; уточнение параметров обеспечения и факторов риска нарушения интероперабельности компонентов системы менеджмента; проведение первичного структурно-функционального (онтологического) моделирования предметной области объекта исследования; определение условного потенциала ценности проектируемого ЦЭСМКЛ на основе количественной оценки семантической интероперабельности компонентов системы менеджмента. Для решения поставленных задач применялись следующие методы: анализ публикаций по теме исследования; экспертный анализ нормативной базы; анализ объекта и предмета исследования с позиций системного анализа; структурно-функциональное (онтологическое) моделирование СМКЛ; матрично-экспертный метод количественной оценки семантической интероперабельности компонентов системы менеджмента.

Ключевые слова: стандартизация, цифровой (SMART) стандарт, модель, онтология, ЛИМС, ГОСТ ISO/IEC 17025–2019

INTEROPERABILITY OF LABORATORY MANAGEMENT SYSTEM COMPONENTS IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION: SYSTEM ANALYSIS AND EVALUATION METHOD

Poselskaya Yu. V., Chentsov S. V.

Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., Krasnoyarsk, Russia 660041, e-mail: p.yu.v78@bk.ru

The article presents the results of a study on the problem of interoperability of components of the competent laboratory management system (QM) in the process of digital transformation. The problem of interoperability is an important aspect of automation of laboratory processes that requires an integrated approach and special scientific and methodological study both at the stage of LIMS implementation and in the future of interaction with various external digital ecosystems. The object of study in this paper is QM in the context of digital transformation. The subject of the study is the interoperability of QM components in the integration of digital standardization elements. The objective of this work is to quantify the semantic interoperability of QM components as a characteristic of the total value potential when designing a digital reference for a competent laboratory management system. The key tasks of the work include: to identify the critical entities of the research object in the current and prospective states; to clarify the parameters of ensuring and risk factors for disruption of the interoperability of the management system components; to conduct primary structural and functional (ontological) modeling of the subject area of the research object; determination of the conditional value potential of the projected QM based on a quantitative assessment of the semantic interoperability of the management system components. The following methods were used to solve the tasks set: analysis of publications on the research topic; expert analysis of the regulatory framework; analysis of the object and subject of research from the perspective of system analysis; structural and functional (ontological) modeling of QM; matrix-expert method for quantifying the semantic interoperability of management system components.

Введение

В современных условиях цифровой трансформации одним из актуальных направлений деятельности компетентных лабораторий¹ является автоматизация процессов посредством внедрения ЛИМС (лабораторной информационной менеджмент системы). Именно на этапе внедрения ЛИМС становится очевидной проблема интероперабельности. Под интероперабельностью (interoperability) в данной работе понимается способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена² [1, 2]. В данной работе существующие подходы к исследованию проблемы интероперабельности распространены на систему менеджмента компетентной лаборатории (СМКЛ) исходя из того, что под системой понимается комбинация взаимодействующих элементов, упорядоченная для достижения одной или нескольких поставленных целей, а также что требования интероперабельности свойственны практически для всех систем, независимо от их масштабов и функционального назначения [2].

Важно отметить, что с одной стороны, при внедрении ЛИМС возникают сложности интеграции с внешними автоматизированными информационными системами (ИС): справочными системами нормативной документации; программным обеспечением высокоточного лабораторного оборудования, системами управления производственными процессами и/или жизненным циклом изделия (PDM/PLM, MES, ERP и др.). С другой стороны, внедрение ЛИМС в лаборатории, работающей в условиях строгого регулирования ГОСТ ISO/IEC 17025–2019, является своего рода вызовом стабильности функционирования системы менеджмента на подтвержденном уровне компетентности, поскольку требует практически коренной реорганизации всей системы менеджмента качества и зачастую полного пересмотра рабочих процедур. Это связано с необходимостью непрерывного соответствия лабораторной деятельности порядка двумстам требованиям стандарта, а готовых решений ЛИМС, полностью обеспечивающих их соблюдение в текущих реалиях, нет.

Кроме того, пакет документации СМКЛ, разрабатываемый с учетом требований ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 и смежного законодательства в закреплённой области аккредитации (деятельности), требующий проработки сотен взаимосвязанных нормативных требований, формируется преимущественно с использованием стандартного офисного программного обеспечения в виде статичных текстовых документов. Такой формат подготовки документации нередко приводит к ошибкам в ссылках на нормативные требования, наличию неактуальных сведений, дублированию информации, разночтениям применяемой нормативной терминологии, неоднозначности формулировок, что впоследствии может нарушить целостность функционирования СМКЛ и послужить существенным барьером интероперабельности её компонентов.

Необходимо отметить, что активное развитие цифровизации в промышленности в текущем периоде потребовало интенсивного развития стандартизации для целей автоматизации и достижения интероперабельности цифровых систем [3]. Неотъемлемой частью процесса цифровой трансформации являются стандарты в области информационных технологий [4], при этом резкое увеличение объема собственных разработок в нашей стране привело к повышению интереса к стандартам в этой области, что потребовало совершенствования методического аппарата обоснования предложений в годовые и среднесрочные программы стандартизации и формирования рациональных профилей стандартов применительно к конкретной продукции [5].

В связи с этим чрезвычайно важное стратегическое значение приобретает направление цифровой (SMART) стандартизации. Разработки по представлению стандартов в цифровых форматах ведутся как на международном, так и на национальном уровнях стандартизации, при этом лидирующая роль в вопросах создания и применения умных (SMART) стандартов по мнению экспертного сообщества принадлежит России [6]. Отличительной особенностью SMART-стандарта является то, что он формируется на основе документа по стандартизации и представляет собой контейнер разнообразных неструктурированных и структурированных данных, предназначенных как для использования человеком, так и для машиночитаемой обработки. Такая многокомпонентная структура дает информационным системам возможность использовать нормативные требования напрямую, в том числе и без участия эксперта, что позволяет поддерживать контекстно-зависимую адаптивность разработки стандартов, служить основой для встроенной в производственные процессы верификации, обеспечивать кроссплатформенную интероперабельность. Тот факт, что в ноябре 2025 г. Росстандарт утвердил приказ о создании технического комитета по стандартизации «Умные (SMART)

¹ Лаборатории удовлетворяющие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 считаются компетентными.

² ГОСТ Р 55062–2021 «Информационные технологии. Интероперабельность. Основные положения»

документы» (ТК 711), который стал правопреемником ПТК 711 «Умные (SMART) стандарты», свидетельствует, что SMART-стандартизация становится важным направлением системной работы [7]. Отмечена необходимость создания и внедрения в практику технологий перевода в машинопонимаемый формат более широкого круга нормативной документации, т. е. появления не только «умных» стандартов, но и шире — «умных» документов [4]. Единым Национальным центром развития и информационного обеспечения системы стандартизации и технического регулирования является Российский институт стандартизации, на базе которого ведутся масштабные исследования в области стандартизации критически важных технологий, устойчивого развития и цифровизации Национальной системы стандартизации, в том числе в направлении обеспечения информационных систем и процессов разработки и внедрения наукоемкой техники межотраслевыми комплексами стандартов [8].

Ориентируясь на то, что SMART-стандартизация рассматривается в качестве национальной стратегии цифровой трансформации промышленности [7], необходимо выделить её перспективную роль в инновационной деятельности компетентных лабораторий по развитию цифровой инфраструктуры в направлении оценки соответствия. Однако вышеперечисленные проблемные аспекты формирования пакета документов системы менеджмента (СМ), постоянный рост цифровых данных и разобщенность информационных систем, могут создать серьезную угрозу нарушения интероперабельности при интеграции элементов цифровых (SMART) стандартов в СМКЛ, тем самым снизить её функциональность и потенциальную ценность, и как следствие привести к неоплаченным финансовым и операционным издержкам, дополнительным рискам в оценке соответствия.

В Российской Федерации в исследованиях интероперабельности значимую роль играет научная школа, возглавляемая А. Я. Олейниковым, д.т.н., профессором, главным научным сотрудником Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук. Учеными научной школы под руководством А. Я. Олейникова получены значимые общие результаты в области интероперабельности для информационных систем самого широкого класса и назначения [1, 2]. Несмотря на усилия научного сообщества, а также заинтересованных организаций и экспертов, объединенных деятельностью ПК206/ТК22 Росстандарта «Интероперабельность» под председательством А. Я. Олейникова, проблема интероперабельности остаётся актуальной в современных условиях цифровой экономики³ [9] и требует специальной научно-методической проработки в направлении оценки соответствия на примере деятельности компетентных лабораторий. Необходимость проведения научного исследования в данном направлении подтверждается также результатами экспертного анализа нормативной базы, а именно отсутствием соответствующих стандартов в области информационных технологий, регулирующих единые подходы к внедрению ЛИМС, в том числе с целью обеспечения функциональной совместимости (enterprise interoperability)⁴ с внешними информационными системами при единообразном всеобъемлющем соблюдении обязательных требований ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 и связанного законодательства.

Объектом исследования в данной работе является СМКЛ в условиях цифровой трансформации.

Предмет исследования – интероперабельность компонентов СМКЛ при интеграции элементов цифровой стандартизации.

Цель данной работы - количественная оценка семантической интероперабельности компонентов СМКЛ как характеристики суммарного потенциала ценности при проектировании цифрового эталона системы менеджмента компетентной лаборатории (ЦЭСМКЛ).

Для достижения цели работы поставлены следующие задачи:

1. Определить критические сущности объекта исследования в текущем и перспективном (проектируемом) состояниях.
2. Уточнить параметры обеспечения и факторы риска нарушения интероперабельности компонентов системы менеджмента.
3. Провести первичное структурно-функциональное (онтологическое) моделирование предметной области объекта исследования.
4. Определить условный потенциал ценности проектируемого ЦЭСМКЛ на основе количественной

³ Белая книга цифровой экономики, 2023

⁴ Способность предприятий или находящихся в них сущностей (объектов) осуществлять эффективную связь и взаимодействие (определение 3.2, ГОСТ Р ИСО 11354-2-2016 «Усовершенствованные автоматизированные технологии и их применение. Требования к установлению интероперабельности процессов промышленных предприятий. Часть 2. Модель зрелости для оценки интероперабельности предприятий»).

оценки семантической интероперабельности компонентов системы менеджмента.

Для решения поставленных задач применялись следующие методы: анализ публикаций по теме исследования; экспертный анализ нормативной базы; анализ объекта и предмета исследования с позиций системного анализа; структурно-функциональное (онтологическое) моделирование СМКЛ; матрично-экспертный метод количественной оценки семантической интероперабельности компонентов системы менеджмента.

Структура работы обусловлена логикой достижения цели и включает введение, четыре тематических подраздела, обсуждение полученных результатов, заключение и список использованных источников.

Характеристика объекта исследования с позиций системного анализа процесса гарантии качества для системы

Согласно ГОСТ Р ИСО 9000–2015 система менеджмента (СМ) - совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих элементов организации для разработки политик, целей и процессов для достижения этих целей. Как показано выше, лаборатории, работающие по ГОСТ ISO/IEC 17025–2019, разрабатывают пакет документации СМ с учетом требований данного стандарта и смежного законодательства в закреплённой области аккредитации (деятельности). Основной пакет документов СМКЛ включает Руководство по качеству и Документированные процедуры, детализирующие ключевые процессы лабораторной деятельности в соответствии с установленными нормативными требованиями, соблюдение которых позволяет лабораториям демонстрировать компетентность и способность получать достоверные результаты.

Однако применение статичных текстовых документов не соответствует перспективному формату цифровых (SMART) стандартов и, как уже было отмечено ранее, содержит потенциальный риск нарушения интероперабельности при передаче нормативной информации в ряду цифровых экосистем: Система национальной стандартизации (СНС) → СМКЛ → ЛИМС и других задействованных ИС.

В связи с этим для анализа перспективного (проектируемого, гипотетического) состояния СМКЛ в формате цифрового эталона (ЦЭСМКЛ) применен системный анализ процесса гарантии качества для системы по ГОСТ Р 59994–2022 «Системная инженерия. Системный анализ процесса гарантии качества для системы». Данный метод представляет собой научный метод системного познания, предназначенный для решения практических задач системной инженерии путем представления рассматриваемых системных процессов, системы и/или соответствующего проекта в виде приемлемой моделируемой системы (определение 3.1.11, ГОСТ Р 59994–2022). В ходе анализа определены два основных уровня исследования: описательный и исполняемый. Для каждого уровня конкретизированы критические сущности (таблица – 1), определяющие текущее состояние объекта исследования (СМКЛ) и проектируемое (перспективное, гипотетическое) состояние в формате ЦЭСМКЛ.

Таблица 1 – Критические сущности, определяющие качество системы менеджмента

Уровень	Сущности СМКЛ	Сущности ЦЭСМКЛ
Описательный	Пакет документации СМ по ГОСТ ISO/IEC 17025–2019 в формате статичных текстовых документов	Цифровой эталон пакета документации СМ с элементами цифровой стандартизации
Исполняемый*	Процедуры по ГОСТ ISO/IEC 17025–2019	Системные процессы: - соглашения; - организационного обеспечения; - технического управления; - технические
	Ресурсы: - персонал; - помещения и условия окружающей среды; - оборудование; - системы и вспомогательные службы; - метрологическая прослеживаемость; - продукция и услуги, предоставляемые внешними поставщиками	Активы**: - информация; - программное обеспечение; - материальные активы; - услуги; - люди и их квалификация, навыки и опыт; - нематериальные активы, такие как репутация и имидж

*КТО/ЧТО, КАК, КОГДА исполняет.

**Актив - что-либо, что имеет ценность для организации (определение 3.1.1, ГОСТ Р 59994–2022).

В рамках данного исследования согласно терминологии ГОСТ Р 59994–2022 планируемый конечный продукт в формате ЦЭСМКЛ рассматривается в качестве системы-эталона - реальной или гипотетичной системы, которая по своим интегральным показателям прогнозируемых рисков нарушения качества системы и/или риска нарушения реализации рассматриваемого процесса с учетом дополнительных специфических системных требований принимается в качестве эталона для более полного удовлетворения требований заинтересованных сторон системы и рационального решения задач системного анализа (определение 3.1.9, ГОСТ Р 59994–2022)

Однако на этапе проектирования ЦЭСМКЛ рассматривается с позиций моделируемой системы - системы, для которой решение задач системного анализа осуществляется с использованием ее формализованной модели, позволяющей исследовать критичные сущности системы в условиях ее создания и/или применения, учитывающей структурные связи между переменными или постоянными элементами формализованного представления, задаваемые условия и ограничения (определение 3.1.4, ГОСТ Р 59994–2022).

Проблемно-ориентированное описание интероперабельности компонентов СМКЛ

Обеспечение интероперабельности перспективных ИС должно строиться на основе единого подхода, содержащего ряд этапов, зафиксированных в ГОСТ Р 55062–2021: построение архитектуры; построение эталонной модели интероперабельности; построение профиля интероперабельности; программно-аппаратная реализация; аттестационное тестирование [10].

С целью определения условий обеспечения интероперабельности и факторов, представляющих потенциальную угрозу её нарушения в ряду цифровых экосистем: СНС → СМКЛ/ЦЭСМКЛ →ЛИМС, а также других смежных задействованных ИС (получателей и отправителей данных), подготовлено предварительное проблемно-ориентированное описание интероперабельности компонентов СМКЛ через призму эталонной модели интероперабельности^{5,6,7} (рисунок 1) адаптированной под задачи исследования и дополненной по [11, 12].



Рисунок 1 – Эталонная модель интероперабельности

В ходе подготовки проблемно-ориентированного описания интероперабельности компонентов СМКЛ на условно выделяемых техническом, семантическом и организационном эталонных уровнях, авторы данной работы опирались на терминологию национальных стандартов^{2,3,4}, а также [2] с учетом [12].

Анализ состояния интероперабельности компонентов СМКЛ на техническом уровне.

Технический уровень описывает синтаксис или форматы передаваемой информации, заостряя внимание на том, как представлена информация в коммуникационной среде. Данный уровень включает протоколы передачи данных, интерфейсы, форматы сообщений, обеспечивает физическую (логическую) связь между системами отвечая на вопрос «как происходит взаимодействие?». Техническая интероперабельность достигается главным образом за счет использования общих стандартов коммуникаций (TCP/IP, HTTP, SOAP/REST и др.), конвертируемых форматов данных (JSON, XML и др.), а также инфраструктуры, обеспечивающей доступность и безопасность соединений.

Применительно к анализу интероперабельности компонентов СМКЛ предполагает реализацию в обеспечении бесшовного взаимодействия в ряду цифровых экосистем: СНС → СМКЛ/ЦЭСМКЛ →ЛИМС и других задействованных ИС. Однако на данном этапе работы является перспективным направлением, научно-методическая проработка которого потребуется при подготовке и аттестационном тестировании (внедрении)

⁵ ГОСТ Р 55062–2021 «Информационные технологии (ИТ). Интероперабельность. Основные положения»

⁶ ГОСТ Р 59797–2021 «Информационные технологии (ИТ). Сложные системы. Интероперабельность. Основные положения»

⁷ ГОСТ Р 70569–2022 «Информационные технологии (ИТ). Сетевые информационно-управляющие системы. Интероперабельность»

проекта ЦЭСМКЛ.

Анализ состояния интероперабельности компонентов СМКЛ на семантическом уровне.

Семантический уровень описывает семантические аспекты взаимодействия (содержательную сторону обмениваемой информации), позволяет системам комбинировать полученную информацию с другими информационными ресурсами, обрабатывать ее смысловое содержание, т. е. по сути отвечает на вопрос «что означают передаваемые данные?». Семантическая интероперабельность достигается за счет применения стандартных соглашений о данных (JSON-схемы, XML/XSD, RDF/OWL). Обеспечение интероперабельности на семантическом уровне требует единообразия понимания информации (смыслового соответствия) в разных системах, что предполагает наличие общих словарей, классификаторов, онтологий, форматов представления данных, иначе формализованных договорённостей о предметной области.

Экспертиза пакета документов СМКЛ позволила выявить следующие потенциальные риски (факторы, представляющие угрозу) нарушения интероперабельности на семантическом уровне:

- в части согласованности информационных параметров и терминов: разночтения определений нормативной терминологии и как следствие возможное некорректное и неоднозначное её применение, отсутствие единообразия ссылок на нормативные требования внешней НД, отсутствие необходимых взаимоувязок в виде перекрестных ссылок между компонентами СМКЛ;

- в части согласованности форматов структур данных и их содержания: ошибки, дублирования, несоответствие типов данных;

- в части качества совместно используемой информации: неактуальные сведения, недостаточная семантическая проработанность документов.

Анализ состояния интероперабельности компонентов СМКЛ на организационном уровне.

Организационный уровень акцентирует внимание на бизнес-процессах, договорённостях и правилах, которые позволяют разным организациям сотрудничать. Организационная интероперабельность отвечая на вопрос «зачем и при каких условиях осуществляется взаимодействие?» включает согласование целей, юридические и регуляторные аспекты, распределение ответственности, вопросы доверия между участниками взаимодействия. Организационная интероперабельность достигается за счет применения нормативно-правовых документов (регламентов, соглашений, конвенций, договоров/контрактов о сотрудничестве), а не за счет применения стандартов (нормативно-технических документов). Важно отметить, что без организационной интероперабельности даже при наличии технической связи и понимании данных взаимодействие может не состояться и/или не принести ценности [12].

На данном этапе работы детальный анализ состояния интероперабельности компонентов СМКЛ на организационном уровне выходит за рамки исследования, является перспективным направлением проработки при аттестационном тестировании (внедрении) ЦЭСМКЛ в конкретных условиях взаимодействия с внешними контрагентами (органом по аккредитации, поставщиками продукции или услуги, Центром стандартизации и метрологии, иными юридическими лицами).

Результаты определения условий обеспечения интероперабельности компонентов СМКЛ и потенциальных рисков её нарушения на техническом, семантическом и организационном уровнях в соответствии с текущими задачами исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Проблемно-ориентированное описание интероперабельности компонентов СМКЛ.

Уровень интероперабельности	Условия обеспечения интероперабельности	Потенциальные риски нарушения интероперабельности
Организационный	Согласованность целей, задач и назначения	На данном этапе исследования не выявлено. Перспективная задача при тестировании/внедрении ЦЭСМКЛ в конкретных условиях взаимодействия с ИС (отправителями и получателями данных)
	Согласованность руководящих и нормативных документов	
	Функциональная пригодность и функциональная полнота	
Семантический	Согласованность информационных параметров и терминов	- разночтения определений нормативной терминологии, - отсутствие единообразия ссылок на нормативные требования внешней НД, - отсутствие взаимоувязанных перекрестных ссылок

	Согласованность форматов структур данных и их содержания	- ошибки, - дублирования, - несоответствие типов данных
	Качество совместно используемой информации	- неактуальные сведения, - недостаточная семантическая проработанность документов
	Согласованность форм представления данных и инструментов управления	На данном этапе исследования не выявлено. Перспективная задача при тестировании/внедрении ЦЭСМКЛ в
	Согласованность протоколов и интерфейсов	конкретных условиях взаимодействия с ИС (отправителями и получателями данных)
Технический	Алгоритмическая согласованность отдельных процедур, выполняемых в рамках совместных процессов	На данном этапе исследования не выявлено. Перспективная задача при тестировании/внедрении ЦЭСМКЛ в конкретных условиях взаимодействия с ИС (отправителями и получателями данных)
	Производительность (время выполнения операций и процедур в рамках совместных процессов)	
	Надежность ключевых элементов, критических для взаимодействия	
	Удобство эксплуатации (качество интерфейсов, уровень автоматизации управления сетью, время подготовки к работе и т. д.)	

Структурно-функциональное (онтологическое) моделирование предметной области объекта исследования

С целью формализации знаний о предметной области (ПО) объекта исследования проведено первичное структурно-функциональное моделирование СМКЛ на специализированной платформе «ОНТО», позволяющей обрабатывать информацию одновременно в графическом и табличном редакторах. При его реализации выполнена декомпозиция пакета документов СМ с выделением объектов модели – Руководства по качеству и документированных процедур (ДП) и определением типов связей между ними («часть-целое», «ссылается на»). Дальнейшая проработка велась с конкретизацией взаимосвязей объектов по применяемой нормативной терминологии, ссылкам на нормативные требования внешней НД, перекрестным ссылкам. По мере проработки сформирован первичный глоссарий ПО, который требует дополнения в ходе дальнейшего исследования. Фрагмент графа, иллюстрирующего взаимосвязи ДП через перекрестные ссылки представлен на рисунке 2.

Полученная первичная структурно-функциональная модель СМКЛ послужила основой применения матрично-экспертного метода оценки текущего состояния семантической интероперабельности элементов СМ и определения потенциала роста её ценности.

Матрично-экспертный метод количественной оценки семантической интероперабельности компонентов системы менеджмента

Матрично-экспертный метод в данной работе опирается на теорему интероперабельности, адаптированную под задачи исследования. Согласно утверждению теоремы интероперабельности «целостная система из N взаимосвязанных (интероперабельных) элементов обладает строго большей совокупной функциональностью и ценностью, чем эквивалентный набор изолированных элементов без интероперабельности» [12].

Для количественной оценки семантической интероперабельности согласно предложенной в [12] концепции, модель СМ (рисунок 2) далее представлена в виде графа $G = (V; E)$, где вершины $V=1, 2, 3, \dots, N$ – информационные узлы (документированные процедуры, $N=16$), а рёбра $E = \{(1,2), (1,3) \dots (1, N) \dots (2,1), (3,1) \dots (3,N) \dots\}$ - каналы взаимодействия (обмена данными и совместного функционирования). В качестве условных параметров определения каналов взаимодействия выбраны перекрёстные ссылки в документированных процедурах, общая нормативная терминология и единые ссылки на внешние нормативные документы (НД), поскольку они косвенно характеризуют функциональную взаимосвязанность элементов СМ, демонстрируют возможность взаимодействия (обмена данными) и «единое понимание» передаваемой нормативной информации, доступны для содержательной и количественной обработки.

Для оценки парных взаимодействий сформирована матрица (Таблица 3) с обозначением соответствующих

информационных узлов (документированных процедур) и параметров их взаимодействия (перекрестные ссылки, общая нормативная терминология, единые ссылки на внешние НД).

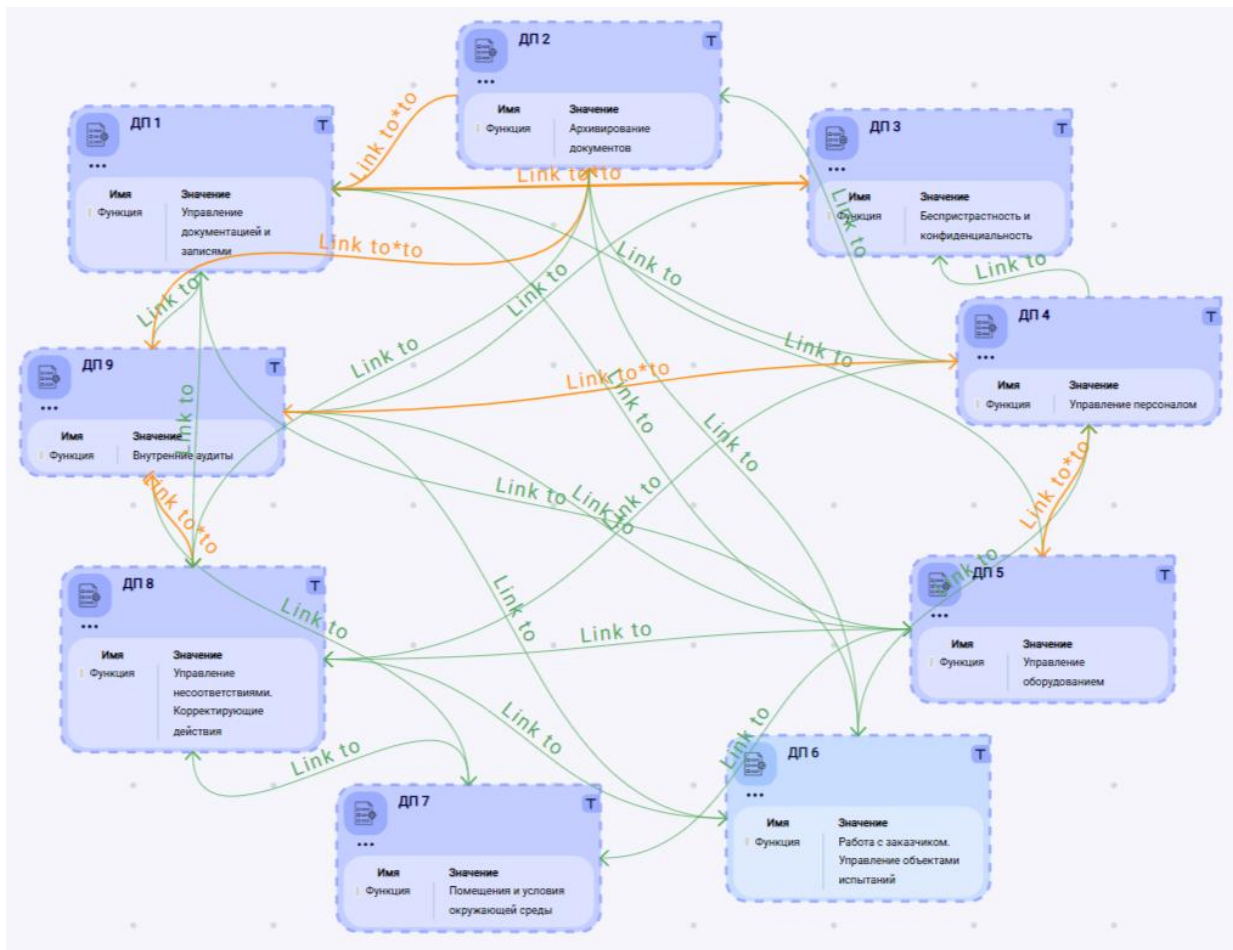


Рисунок 2 – Фрагмент графа - иллюстрация взаимосвязей ДП через перекрестные ссылки

Внутренняя ценность информационных узлов с начальным набором данных и функций обозначена v_i , где $i=1, 2, 3, \dots, 16$. Согласно предложенной в [12] теореме интероперабельности, в отсутствие связей суммарная ценность системы – это просто сумма локальных ценностей:

$$V_{isolated} = \sum_{i=1}^N v_i \quad (1)$$

При условии, что узловые подсистемы интероперабельны, то есть между ними есть возможность обмена данными и совместного использования функций, возникает дополнительная ценность $\Delta_{ij} > 0$, получаемая благодаря прямому взаимодействию v_i и v_j . Эта ценность включает как прагматический эффект (повышение эффективности, устранение дублирования, сокращение затрат), так и синергетический эффект (создание новых продуктов и знаний на основе комбинирования информации). В предположении независимых парных взаимодействий совокупная ценность полностью связанной системы из N узлов будет:

$$V_{full}(N) = \sum_{i=1}^N v_i + \sum_{1 \leq i < j \leq N} \Delta_{ij} \quad (2)$$

Каждое слагаемое в формуле (2) $\Delta_{ij} > 0$, поэтому каждое добавление ребра (установление нового канала взаимодействия) увеличивает общую ценность. Полносвязный граф (полная интероперабельность между всеми парами) имеет максимальное число рёбер $|E| = N(N-1)/2$, и соответственно максимальную сумму положительных приростов.

При равномерных эффектах $\Delta_{ij} = \delta > 0$ (приблизительно равная средняя выгода от взаимодействия любой пары) суммарная ценность сети (системы) пропорциональна числу связей:

$$V_{full}(N) = \sum_i v_i + \delta \frac{N(N-1)}{2} \quad (3)$$

По формуле (3) выполнен расчет условного коэффициента пропорциональности для оценки фактической и потенциальной суммарной ценности системы менеджмента, состоящей из 16 документированных процедур.

Разница между этими показателями позволила, в свою очередь, оценить условный потенциал роста ценности системы порядка 60% на перспективу дальнейшей проработки пакета документов СМ и внедрения элементов цифровой (SMART) стандартизации («умных» документов).

Таблица 3 – Фрагмент матрицы парных взаимодействий

Пары информационных узлов		Тип взаимодействия (ребра, каналы обмена информацией)	
Vi	Vj	Перекрестная ссылка прямая	Перекрестная ссылка обратная
ДП1	ДП2	да	да
ДП2	ДП3	нет	нет
ДП3	ДП4	нет	да
ДП4	ДП5	да	да
ДП5	ДП6	нет	нет
ДП6	ДП7	нет	нет
ДП7	ДП8	да	нет
ДП8	ДП9	да	да
ДП1	ДП3	да	да
ДП2	ДП4	нет	да
ДП3	ДП5	нет	нет
ДП4	ДП6	нет	да
ДП5	ДП7	да	нет
ДП6	ДП8	да	нет
ДП7	ДП9	нет	да
ДП1	ДП4	нет	да
ДП2	ДП5	нет	да
ДП3	ДП6	нет	нет
ДП4	ДП7	нет	нет
ДП5	ДП8	да	нет
ДП6	ДП9	нет	да
ДП1	ДП5	да	нет
ДП2	ДП6	нет	да
ДП3	ДП7	нет	нет
ДП4	ДП8	да	нет
ДП5	ДП9	нет	да
ДП1	ДП6	да	нет
ДП2	ДП7	нет	нет
ДП3	ДП8	нет	нет
ДП4	ДП9	да	да
ДП1	ДП7	нет	нет
ДП2	ДП8	да	нет
ДП3	ДП9	нет	да
ДП1	ДП8	да	нет
ДП2	ДП9	да	да
ДП1	ДП9	нет	да

Результаты работы, их интерпретация и перспектива применения в дальнейшем исследовании

В ходе выполнения работы получены следующие результаты:

1. Определены критические сущности объекта исследования в текущем и перспективном (проектируемом) состояниях;
2. Уточнены параметры обеспечения и факторы риска нарушения интероперабельности компонентов системы менеджмента;
3. Проведено первичное структурно-функциональное (онтологическое) моделирование предметной области объекта исследования;
4. Определен условный потенциал ценности проектируемого ЦЭСМКЛ на основе количественной оценки

семантической интероперабельности компонентов системы менеджмента.

Полученные результаты в целом подтверждают достижение поставленной цели на текущем этапе исследования и являются комплексной основой перспективных задач реализации проекта по созданию и применению ЦЭСМКЛ.

Так, критические сущности, определяющие качество СМ, позволят решить очередные исследовательские задачи в направлении системного анализа ЦЭСМКЛ, как с позиций моделируемой системы, так и с позиций конечного продукта – системы-эталона, с учетом структурных связей между переменными или постоянными элементами формализованного представления, а также задаваемых условий и ограничений.

Исходя из уточненных факторов риска нарушения интероперабельности компонентов СМКЛ на семантическом уровне, на этапе проектирования ЦЭСМКЛ потребуются разработать меры их устранения и/или минимизации, при соблюдении условий обеспечения интероперабельности на всех уровнях взаимодействия как целостной цифровой экосистемы. Также перспективным в рамках данного исследования является дополнение анализа проблемно-ориентированного описания интероперабельности уровнями данных и ИИ-моделей.

Полученная структурно-функциональная модель СМКЛ послужит основой имитационного моделирования при проектировании ЦЭСМКЛ. Кроме того, опираясь на проведенное первичное онтологическое моделирование как на концептуальную основу подготовки формализованной договоренности о ПО для решения задач по обеспечению семантической интероперабельности, в рамках исследовательского проекта можно говорить о дальнейшей разработке онтологии, в том числе глоссария (основы тезауруса), реестра обязательных нормативных требований к деятельности компетентных лабораторий, связанных с этим классификаторов и форматов представления данных, а также развития матрично-экспертного метода оценки.

Условный потенциал ценности проектируемого ЦЭСМКЛ, определенный на основе количественной оценки семантической интероперабельности компонентов системы менеджмента, с одной стороны является подтверждением нереализованной на данном этапе совокупной ценности системы, с другой обоснованием разработки методики оценки обеспечения интероперабельности и мониторинга изменений в динамике на всех этапах выполнения исследовательского проекта по внедрению элементов цифровой (SMART) стандартизации в СМ компетентной лаборатории.

Заключение

1. Полученные результаты и перспективные задачи исследования свидетельствуют о существовании проблемы интероперабельности в текущей деятельности компетентных лабораторий, а также говорят о необходимости выработки мер её обеспечения и устранения и/или минимизации риска нарушения взаимодействия информационных систем на перспективу. Дополнительным аргументом здесь может служить условно «ретроспективный взгляд» на данную исследовательскую проблему через новую парадигму в развитии промышленности - «Индустрия 5.0», которая акцентирует внимание на сотрудничестве человека и технологий для создания устойчивых и интеллектуальных производственных систем.

2. В ходе работы установлено, что обеспечение интероперабельности перспективных (проектируемых) ИС должно строиться на основе единого подхода, содержащего ряд этапов, зафиксированных в ГОСТ Р 55062–2021, которые необходимо последовательно соблюдать при выполнении исследовательского проекта от создания до внедрения ЦЭСМКЛ: построение архитектуры; построение эталонной модели интероперабельности; построение профиля интероперабельности; программно-аппаратная реализация; аттестационное тестирование.

3. Для практической реализации и максимального раскрытия определенного в данном исследовании потенциала ценности системы посредством соблюдения описанного выше единого подхода к обеспечению интероперабельности компонентов СМКЛ при внедрении элементов цифровой (SMART) стандартизации, целесообразно распространить на выполнение исследовательского проекта по созданию и внедрению ЦЭСМКЛ действие стандартов серии «Умные (SMART) стандарты». А именно, ПНСТ 864–2023 «Умные (SMART) стандарты. Общие положения», содержащего общие положения о содержимом, структуре и информационной среде функционирования умных (SMART) стандартов, ПНСТ 1016–2025 «Умные (SMART) стандарты. Архитектура и форматы данных», устанавливающего требования к архитектуре SMART-стандартов и SMART-формату, а также очередные документы данной серии по мере их разработки и утверждения.

Таким образом, выполненная работа вносит вклад в общее научно-методическое развитие направления интероперабельности. Имеет значение для теоретического применения на перспективу решения проблемы интероперабельности, а также для практической реализации в инновационной деятельности компетентных лабораторий по развитию цифровой инфраструктуры, а значит, содействию эффективности цифровой трансформации в направлении оценки соответствия.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Ассоциации «Компетентность и качество» в лице председателя Фалкина Дмитрия Владимировича за оказанную поддержку научного исследования и практической работы.

Список литературы

1. Нестеров, А. А. Оценка уровня готовности систем к взаимодействию на техническом уровне интероперабельности / А. А. Нестеров // ИТ-Стандарт. – 2024. – № 3(40). – С. 97-109. – EDN GQFVKA.
2. Костокрызов А.И. Модели и методы системной инженерии для определения существенных угроз и условий нарушения интероперабельности // Электронный научный журнал «ИТ-Стандарт». – 2025. – № 4. – С. 5-23.
3. Кукшев, В. И. Тенденции стандартизации: разработка и применение стандартов при цифровизации промышленности / В. И. Кукшев // ИТ-Стандарт. – 2025. – № 3(44). – С. 30-37. – EDN HSAEKN.
4. Головин, С. А. Основные факторы, повышающие эффективность применения современных стандартов в области информационных технологий в ходе проведения цифровой трансформации / С. А. Головин, А. Н. Лоцманов, С. Г. Тихомиров // ИТ-Стандарт. – 2024. – № 4(41). – С. 4-8. – EDN JRDOXO.
5. Головин, С. А. Технологическая база для определения объективных потребностей в ИТ-стандартах / С. А. Головин, А. Н. Лоцманов, С. Г. Тихомиров // ИТ-Стандарт. – 2025. – № 3(44). – С. 5-10. – EDN RQGLVW.
6. Денисова, О. А. Обзор зарубежного и международного опыта smart стандартизации / О. А. Денисова // ИТ-Стандарт. – 2025. – № 2(43). – С. 13-19. – EDN MBQMPP.
7. Хабибуллин Р.Р., Минина А.О. SMART-стандарты как основа цифровой трансформации промышленности. Глобальные тренды и национальные стратегии // Стандарты и качество. — 2025. — № 12. — С. 36—38.
8. Будкин, Ю. В. Обеспечение информационных систем и процессов разработки и внедрения наукоемкой техники межотраслевыми комплексами стандартов. Часть 1. Единая система стандартов автоматизированных систем управления / Ю. В. Будкин // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. – 2023. – № 1(71). – С. 30-34. – EDN GOTUGZ.
9. Олейников А.Я., Петросян А.Е., Якимов О.С. О развитии отечественной нормативной базы в области обеспечения интероперабельности // Стандарты и качество. — 2025. — № 12. — С. 40—45.
10. Зацаринный, А. А. Подходы к оценке интероперабельности информационных систем / А. А. Зацаринный, Ю. С. Ионенков // Информационное общество. – 2024. – № 3. – С. 143-151. – EDN VUBVED.
11. Олейников, А. Я. основы обеспечения и оценки интероперабельности сетевых информационных управляющих систем / А. Я. Олейников, И. А. Фомин // ИТ-Стандарт. – 2023. – № 1(34). – С. 64-72. – EDN MWKQBC.
12. Салбиев А. Т. Интероперабельность – основа экономики данных : монография / А. Т. Салбиев. – М. ; Спб. : ИД «Стафеефф и К» ; ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025 - 494 с.

References

1. Nesterov, A. A. Assessment of the level of readiness of systems for interaction at the technical level of interoperability / A. A. Nesterov // IT Standard. – 2024. – № 3(40). – Pp. 97-109. – EDN GQFVKA.
2. Kostogryzov A.I. Models and methods of system engineering for determining significant threats and conditions of disruption of interoperability // Electronic scientific journal "IT-Standard". - 2025. – No. 4. – pp. 5-23.
3. Kukshev, V. I. Standardization trends: development and application of standards in the digitalization of industry / V. I. Kukshev // IT Standard. – 2025. – № 3(44). – Pp. 30-37. – EDN HSAEKN.
4. Golovin, S. A. The main factors increasing the effectiveness of the application of modern standards in the field of information technology in the course of digital transformation / S. A. Golovin, A. N. Lotsmanov, S. G. Tikhomirov // IT Standard. – 2024. – № 4(41). – Pp. 4-8. – EDN JRDOXO.
5. Golovin, S. A. Technological base for determining objective needs in IT standards / S. A. Golovin, A. N. Lotsmanov, S. G. Tikhomirov // IT Standard. – 2025. – № 3(44). – Pp. 5-10. – EDN RQGLVW.
6. Denisova O. A. Review of foreign and international experience of smart standardization / O. A. Denisova // IT-Standard. – 2025. – № 2(43). – Pp. 13-19. – EDN MBQMPP.
7. Khabibullin R.R, Minina A.O. SMART standards as the basis for digital transformation of industry: global trends and national strategies. Standarty i kachestvo [Standards and Quality], 2025, no. 12, pp. 36-38 (in Russian).

8. Budkin, Yu.V. Provision of information systems and processes for the development and implementation of high-tech technology by interdisciplinary sets of standards. Part 1. Unified system of standards for automated control systems / Y. V. Budkin // Information and economic aspects of standardization and technical regulation. – 2023. – № 1(71). – Pp. 30-34. – EDN GOTUGZ.
9. Oleynikov A.Ya., Petrosyan A.E., Yakimov O.S. On the development of the national regulatory framework in the field of interoperability // Standards and quality. - 2025. — No. 12. — pp. 40-45.
10. Zatsarinny, A. A. Approaches to assessing the interoperability of information systems / A. A. Zatsarinny, Yu. S. Ionenkov // Information Society. – 2024. – № 3. – pp. 143-151. – EDN VUBVED.
11. Oleynikov, A. Ya. fundamentals of ensuring and evaluating the interoperability of network-centric information management systems / A. Ya. Oleynikov, I. A. Fomin // IT Standard. – 2023. – № 1(34). – Pp. 64-72. – EDN MWKQBC.
12. Salbiev A. T. Interoperability – the basis of data economics : a monograph / A. T. Salbiev, Moscow ; St. Petersburg : Publishing House "Stafeeff and K" ; POLYTECH PRESS, 2025 – 494 p.