

Научная статья

УДК 004.057

DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-4-65-74



Структурно-функциональная модель интероперабельности организационно- технических систем

Сергей Иванович Макаренко¹, mak-serg@yandex.ru

Алексей Альбертович Нестеров²✉, nesterov.aa@sut.ru

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, 197022, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

Аннотация: В современных условиях при интеграции организационно-технических систем (ОТС) возрастает актуальность обеспечения интероперабельности в таких системах. В данной работе рассмотрены вопросы формирования структурно-функциональной модели интероперабельности ОТС. Выделены процессы, категории и объекты, входящие в ОТС, проведена их классификация. Выявлены факторы, влияющие на интероперабельность на семантическом, организационном и техническом уровнях. Рассмотрена интероперабельность основных процессов, категорий и объектов в составе модели интероперабельности. Представлены рекомендации по дальнейшему направлению исследований в целях повышения качества интероперабельности при взаимодействии ОТС.

Ключевые слова: интероперабельность, организационная интероперабельность, техническая интероперабельность, организационно-техническая система, техническая подсистема

Ссылка для цитирования: Макаренко С.И., Нестеров А.А. Структурно-функциональная модель интероперабельности организационно-технических систем // Труды учебных заведений связи. 2023. Т. 9. № 4. С. 65–74. DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-4-65-74

Structural and Functional Model of Organizational and Technical Systems Interoperability

Sergey Makarenko¹, mak-serg@yandex.ru

Alexey Nesterov²✉, nesterov.aa@sut.ru

¹Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI'

Saint Petersburg, 197022, Russian Federation

²The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications,

Saint Petersburg, 193232, Russian Federation

Abstract: In modern conditions, with the integration of organizational and technical systems (OTS), the relevance of ensuring interoperability in such systems is increasing. In this paper, the issues of forming a structural-functional model of OTS interoperability are considered. The processes, categories and objects included in the OTS are singled out, their classification is carried out. The factors influencing interoperability at semantic, organizational and technical levels are revealed. The interoperability of the main processes, categories and objects as part of the

interoperability model is considered. Recommendations are presented for the further direction of research in order to improve the quality of interoperability in the interaction of OTS.

Keywords: *interoperability, organizational interoperability, technical interoperability, technical subsystem, organizational and technical system*

For citation: Makarenko S., Nesterov A. Structural and Functional Model of Organizational and Technical Systems Interoperability. *Proceedings of Telecommun. Univ.* 2023;9(4):65–74. DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-4-65-74

Введение

К настоящему времени в отечественной науке развернут широкий фронт работ в области исследования интероперабельности, под которой понимается «способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и использованию информации, полученной в результате обмена. Отметим, что в ряде отечественных исследований термин «интероперабельность» заменяется понятием «функциональная совместимость». При этом понятие «функциональная совместимость» является семантическим эквивалентом термина «интероперабельность», что подчеркивается в соответствующих стандартах в этой области (ГОСТ Р 57377, ГОСТ Р 58538, ПНСТ 644-2022).

Исследования в области интероперабельности были начаты в 1990-х годах при активном участии: академика Российской академии наук (РАН) Ю.В. Гуляева в рамках исследований [1–3], посвященных открытым системам; лауреата Государственной премии СССР в области науки и техники, профессора Л.А. Калининко, в рамках исследований [4–7], посвященных разработке методов интеграции неоднородных информационных и программных ресурсов в распределенных системах, композиционных методов проектирования распределенных систем из компонентов, методов и средств организации решения задач в инфраструктурах множественных неоднородных информационных ресурсов; профессора В.К. Батоврина, чьи работы [3, 8], посвящены исследованию проблем развития открытых систем с точки зрения теории и методов системной и программной инженерии и IT-стандартизации. При этом одной из передовых в области исследования интероперабельности является отечественная научная школа интероперабельности, возглавляемая сотрудником Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН профессором А.Я. Олейниковым. В основу этих исследований положено развитие и комплексирование передовых зарубежных результатов в области обеспечения интероперабельности, обзор которых представлен в работе [9]. Под руководством и при непосредственном участии А.Я. Олейникова в период 1995–2019 гг. были получены значимые частные результаты в области интероперабельности для информационных систем самого широкого

класса и назначения – в здравоохранении [10], в электронной коммерции [11], в образовательном процессе [12], в научных исследованиях [13], в облачных вычислениях [14], в промышленности [15], в области обеспечения обороноспособности нашей страны [16–18], а также в области интеграции космических систем [19]. Основным интегральным результатом этого периода исследований можно считать ГОСТ Р 55062, где дано определение интероперабельности, а также впервые зафиксирована отечественная эталонная модель интероперабельности и методика ее достижения. В соответствии с эталонной моделью взаимодействие информационных систем формализуется на трех иерархических уровнях интероперабельности (рис. 1): техническом, семантическом, организационном» [20].

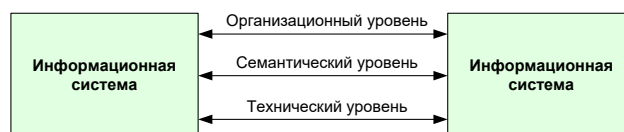


Рис. 1. Отечественная эталонная модель интероперабельности

Fig. 1. Domestic Reference Model of Interoperability

Уровень интероперабельности – степень абстракции, детализации и специфики описания процесса обмена информацией и использования информации, полученной в результате такого обмена.

На организационном уровне описываются цели организаций, их бизнес-процессов, а также единство или эквивалентность нормативно-правовой базы, регламентирующей процессы информационного взаимодействия.

Семантический уровень интероперабельности описывает стандарты, нормы и правила единообразной и правильной интерпретации смысла информации. Семантическая интероперабельность позволяет системам комбинировать полученную информацию с другими информационными ресурсами и обрабатывать ее смысловое содержание.

Технический уровень описывает процессы информационного взаимодействия между техническими системами, техническими средствами, аппаратными и программными комплексами с учетом особенностей реализации их интерфейсов и протоколов обмена информацией, а также форм и форматов представления информации.

Исследования интероперабельности представителями научной школы А.Я. Олейникова продолжают, и среди значимых результатов можно выделить работы [21–26]. Некоторые аспекты проблемы интероперабельности исследуются и специалистами в других областях, в том числе в области здравоохранения – В.А. Дрогозовом [27–29] и в области государственного управления – Ю.М. Акаткиным и Е.Д. Ясиновской [30], Е.В. Франгуловой [31]. Однако большая часть вышеперечисленных работ в области интероперабельности относится к информационному взаимодействию конкретных технических систем, то есть к технической интероперабельности. В этих работах не ставится задача формирования единой общей модели интероперабельности произвольных организационно-технических систем (ОТС) одновременно на организационном, семантическом и техническом уровнях, также в них не ставится задачи по обобщению полученных результатов на более широкий класс систем – больших/сложных открытых информационных ОТС. Из этого можно сделать вывод, что эталонная модель интероперабельности, представленная в ГОСТ Р 55062 [20], а также материал известных публикаций в области интероперабельности не в достаточной степени конкретизирует процессы, категории и объекты ОТС по уровням интероперабельности. Таким образом, актуальной целью исследований является формирование структурно-функциональной модели интероперабельности ОТС, чему и посвящена настоящая статья.

Она продолжает цикл работ авторов, посвященных проблематике обеспечения интероперабельности [32–36]. Разрабатываемая в данной статье модель носит обобщенный, в наименьшей степени формализованный характер. Однако, несмотря на свою общность, эта модель охватывает основные взаимодействующие процессы, категории, объекты и уровни интероперабельности, что позволяет распространить ее на широкий класс реальных ОТС. В дальнейшем авторы планируют продолжить исследования, в ходе которых будут рассмотрены задачи обеспечения повышения качества интероперабельности при взаимодействии различных ОТС и их компонентов.

Схема модели, основные процессы, категории и объекты

Структурно-функциональная модель интероперабельности ОТС, «де-юре», ранее была представлена в ГОСТ Р ИСО 11354-1-2012 «Усовершенствованные автоматизированные технологии и их применение. Требования к установлению интероперабельности процессов промышленных предприятий» [37]. Однако в связи с тем, что этот ГОСТ по своей сути является прямым переводом

международного стандарта ISO 11354-1:2011 «Advanced automation technologies and their applications – Requirements for establishing manufacturing enterprise process interoperability – Part 1: Framework for enterprise interoperability» [38], представленную в нем модель необходимо модифицировать путем терминологического и структурного согласования с эталонной отечественной моделью интероперабельности, представленной в ГОСТ Р 55062-2012 [20], а также с новыми стандартами по интероперабельности сетевых и сложных систем – ГОСТ Р 70569-2022 [39] и ГОСТ Р 59797-2021 [40].

При формировании структурно-функциональной модели самой ОТС можно представить как совокупность организационной и технической подсистем.

Организационная подсистема ОТС – совокупность: персонала, иерархии подчиненности, структуры и принципов управления структурой, принципов информационного взаимодействия между людьми.

Техническая подсистема ОТС – совокупность технических подсистем, комплексов или средств, построенных на основе принципов механики, автоматизации, электроники, радиотехники, программной инженерии или робототехники, выполняющих автоматические и автоматизированные функции по реализации информационных процессов или процессов управления в системе.

Вариант такой модифицированной структурно-функциональной модели интероперабельности ОТС представлен на рисунке 2: взаимодействующие ОТС, их организационная и техническая подсистемы, а также те процессы, категории и объекты ОТС, которые входят в порядок регламентации организационного, семантического и технического уровней интероперабельности. Необходимо отметить следующее: несмотря на то, что на рисунке 2 представлены две ОТС, указанная на рисунке логика взаимодействия может быть распространена не только на целые системы (для внешней интероперабельности), но и на взаимодействие отдельных организационных подразделений внутри одной и той же системы (для внутренней).

В составе модели представлены следующие процессы, категории и объекты:

1) *цели и задачи организации* – общая направленность организации на удовлетворение социально-значимых потребностей общества, получение коммерческой выгоды, производства продукции (изделий, товаров и услуг) т. д. *Цели организации* – результаты, которых стремится достичь организация, и на достижение которых направлена ее деятельность, например, получение прибыли. *Задачи организации* – частные цели, которые необходимо достичь, или трудности, которые необходимо преодолеть в рамках планового периода, для достижения глобальных целей организации;

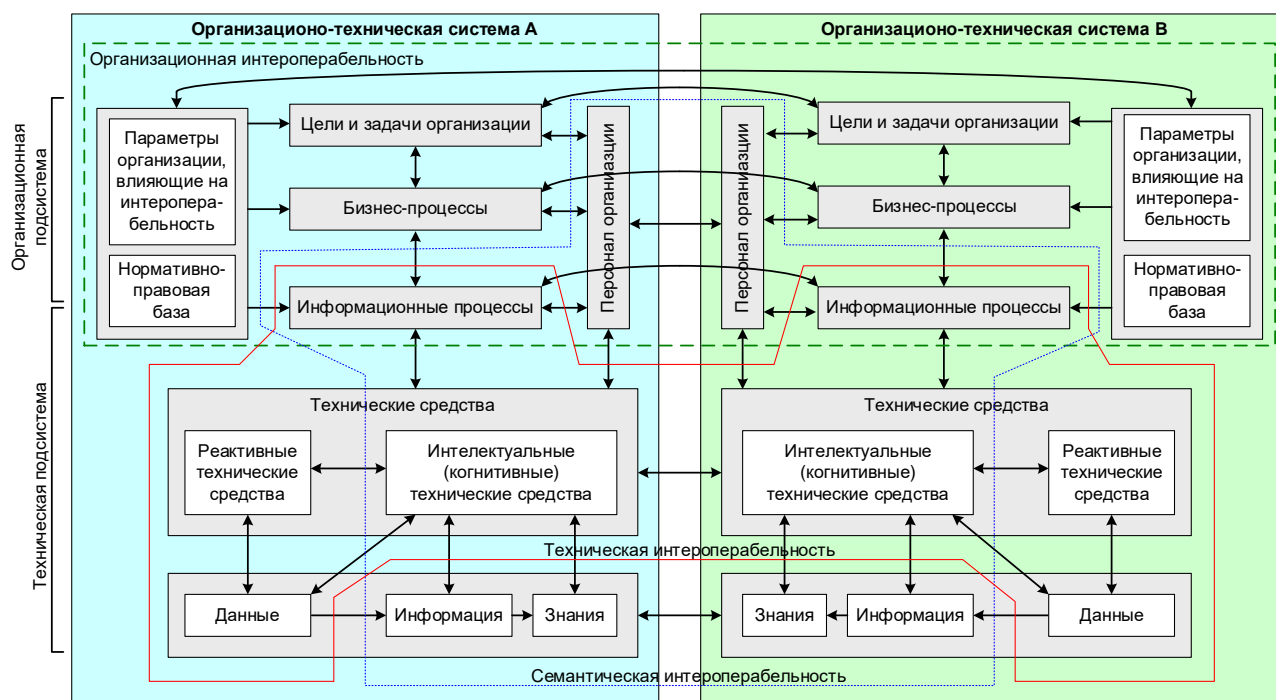


Рис. 2. Структурно-функциональная модель интероперабельности ОТС

Fig. 2. Structural-Functional Model of OTS Interoperability

2) *бизнес-процессы* – совокупность взаимосвязанных мероприятий или работ, направленных на достижение целей организации;

3) *персонал организации* – совокупность: лиц, принимающих решения, менеджеров, командиров и начальников; пользователей; специалистов различного профиля, вовлеченных в бизнес-процессы организации в интересах достижения ее целей;

4) *информационные процессы* – это процедуры и операции, проводимые над информацией, которые включают в себя формирование, сбор и передачу, хранение и архивацию, обработку, использование, представление и уничтожение информации;

5) *технические средства* (ТС) – в рамках данной модели: совокупность технических подсистем, комплексов или средств, построенных на основе принципов механики, автоматики, электроники, радиотехники, программной инженерии или робототехники, выполняющих автоматические и автоматизированные функции по реализации информационных процессов или процессов управления в системе; в составе технических средств можно выделить:

– *интеллектуальные технические средства* (ИТС) – технические подсистемы, комплексы или средства, в которых реализована собственная модель знаний и система интеллектуальных функций, в том числе функций взаимодействия, выполнение которых традиционно считаются прерогативой человека, а именно: осознание новых ситуаций; обучение и запоминание на основе предыдущего опыта; понимание и применение абстрактных концепций; познание и формирова-

ние знаний; использование знаний для решения проблем и управления окружающей средой;

– *реактивные технические средства* (РТС) – технические подсистемы, комплексы или средства, построенные по принципу «входная информация – реакция»; в таких средствах отсутствует собственная модель знаний, а взаимодействие с таким типом средств формируется на основе некоторого набора типовых выходных реакций, которые зависят от входных данных и состояния; как правило, РТС реализуются в виде механической или автоматной системы, выполняющей простейшие неинтеллектуальные функции в ОТС;

6) *данные* – поддающиеся многократной интерпретации представление информации в формализованном знаково-символьном виде, пригодном для формирования, сбора, хранения, передачи, обработки или представления в информационных системах [41]; информационные процессы над данными могут выполнять все виды технических средств и персонал организации;

7) *информация* – сведения, независимо от формы их представления, относительно фактов, событий, вещей, идей и понятий, которые в определенном контексте имеют конкретный смысл (семантическое значение) и интерпретацию [41]; в обобщенном виде можно записать в виде выражения: «информация» = «данные» + «смысл»; (информационные) процессы над информацией могут производить только персонал организации и ИТС; РТС не могут извлекать и обрабатывать смысл информации из совокупности данных;

6) *знания* – совокупность информации о некоторой предметной области, хранящаяся в формально-упорядоченном виде и пригодной для решения какой-либо задачи или достижения определенной цели; проверенный практикой и удостоверенный логикой результат познания действительности, отраженный в виде представлений, понятий, суждений и теорий [41]; в обобщенном виде можно записать в виде выражения: «знания» = «информация» + «цель ее использования»; информационные процессы над знаниями могут производить только люди и ИТС; РТС не могут извлекать знания из информации и применять их для решения новых задач;

7) *нормативно-правовая база* – в рамках данной модели: совокупность нормативно-правовых актов и документов, регламентирующих вопросы интероперабельности;

8) *параметры организации, влияющие на интероперабельность* – в рамках данной модели это разнообразные параметры, факторы и аспекты организационной подсистемы ОТС, прямо или косвенно влияющие на степень достижения интероперабельности ОТС в целом; к таким параметрам можно отнести тип и размер организации, принятая в ней система управления и структура информационных связей, наличие барьеров интероперабельности на организационном уровне и т. д.

Интероперабельность основных процессов, категорий и объектов в составе модели

На организационном уровне формализуются совместимость или совместность целей организаций, их бизнес-процессов, а также единство или эквивалентность нормативно-правовой базы, регламентирующей процессы информационного взаимодействия.

Организационная интероперабельность – совместимость или совместность целей организаций, их бизнес-процессов, а также единство или эквивалентность нормативно-правовой базы, регламентирующей процессы информационного взаимодействия. В составе организационной интероперабельности рассматриваются не только параметры, относящиеся непосредственно к организационной подсистеме ОТС (например, такие как тип организации, особенности организации бизнес-процессов, структура, масштаб и плотность информационных связей и т. д.), но и нормативно-правовой базис (законы, стандарты, рекомендации и т. д.), регламентирующий обеспечение интероперабельности на всех ее уровнях – организационном, семантическом и техническом.

Организационная интероперабельность зависит от:

1) совместности целей и задач ОТС – наличия на организационном уровне общих и взаимно-вложенных целей и задач в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в различных

подразделениях одной и той же ОТС (для внутренней); наличие общих целей и задач является первопричиной, запускающей процесс информационного взаимодействия в интересах организации совместных действий; отсутствие общих целей и задач соответствует случаю, когда у ОТС нет причин в каком-либо информационном взаимодействии вследствие того, что они работают в разных областях;

2) взаимосвязанности бизнес-процессов ОТС – наличия на организационном уровне общих или взаимосвязанных бизнес-процессов в рамках достижения общих целей и решения совместных задач в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в различных подразделениях одной и той же ОТС (для внутренней);

3) необходимости информационного взаимодействия персонала ОТС – наличия на организационном уровне потребности в процессах информационного обмена между должностными лицами ОТС по принципам «человек – человек», «человек – ТС – человек» в рамках обеспечения реализации общих или взаимосвязанных бизнес-процессов в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в различных подразделениях одной и той же ОТС (для внутренней);

4) взаимосвязанности информационных процессов ОТС – наличия на организационном уровне общих или взаимосвязанных информационных процессов по принципам «человек – человек», «человек – ТС – человек» и «человек – ТС» в рамках обеспечения реализации общих или взаимосвязанных бизнес-процессов в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в различных подразделениях одной и той же ОТС (для внутренней);

5) совместности нормативно-правовых баз ОТС – наличия на организационном уровне общих или юридически совместимых нормативно-правовых актов и документов, регламентирующих информационное взаимодействие в рамках обеспечения реализации общих или взаимосвязанных бизнес-процессов в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в различных подразделениях одной и той же ОТС (для внутренней);

6) общности или совместности других параметров ОТС, влияющих на интероперабельность.

На семантическом уровне формализуются стандарты, нормы и правила единообразной и правильной интерпретации смысла информации.

Семантическая интероперабельность – способность взаимодействующих объектов правильно и одинаковым образом интерпретировать смысл информации, которой они обмениваются.

Семантическая интероперабельность зависит от:

1) однозначной трактовки смысла сообщений, передаваемых в процессах информационного обмена между должностными лицами ОТС по прин-

ципам «человек – человек», «человек – ТС – человек», в рамках обеспечения реализации общих или взаимосвязанных бизнес-процессов в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в различных подразделениях одной и той же ОТС (для внутренней), а также от влияния факторов культурного базиса, национальности, религии, социальной роли, используемого языка, образования, опыта и индивидуальных врожденных способностей, таких как интеллект, физические особенности речи, слуха, зрения, обоняния, осязания и т. д. на интерпретацию смысла сообщений;

2) однозначной трактовки смысла сообщений, передаваемых в процессах информационного обмена между персоналом и ТС, особенно – ИТС в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в различных подразделениях одной и той же ОТС (для внутренней);

3) семантической совместимости сообщений по смыслу, целям, предметной области и контексту в рамках информационных процессов, протекающих по направлениям «человек – ИТС», «ИТС – ИТС» и «ИТС – РТС» в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в одной и той же ОТС (для внутренней);

4) семантической совместимости процессов извлечения ИТС смысла информации из совокупности данных, а также знаний из совокупности информации;

5) совместимости и переносимости баз знаний и обмена знаниями между отдельными ИТС.

На техническом уровне формализуются процессы информационного взаимодействия между техническими системами, техническими средствами, аппаратными и программными комплексами с учетом особенностей реализации их интерфейсов и протоколов обмена информацией, а также форм и форматов представления информации.

Техническая интероперабельность – способность к обмену информацией между участвующими в нем системами с использованием технических средств.

Техническая интероперабельность зависит от:

1) совместимости и переносимости данных в рамках информационных процессов между ТС в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в одной и той же ОТС (для внутренней);

2) совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в рамках информационных процессов между ТС в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в одной и той же ОТС (для внутренней);

3) совместимости процедур формирования, поиска, передачи, хранения, обработки и представления информации в рамках информационных процессов между ТС в различных ОТС (для внеш-

ней интероперабельности) или в одной и той же ОТС (для внутренней);

4) совместимости процедур автоматизации сетевого взаимодействия и принятия решений в рамках информационных процессов между ТС в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в одной и той же ОТС (для внутренней);

5) совместимости процедур обеспечения информационной безопасности в рамках информационных процессов между ТС в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в одной и той же ОТС (для внутренней);

6) совместимости и эргономики человеко-машинных интерфейсов в рамках информационных процессов между человеком и ТС в различных ОТС (для внешней интероперабельности) или в одной и той же ОТС (для внутренней).

Межуровневая связь интероперабельности через совместные процессы, категории и объекты

Как было показано на рисунке 2, различные процессы, категории и объекты по-разному распределены по уровням интероперабельности – организационному, семантическому и техническому. Некоторые объекты и процессы одновременно включены в несколько уровней. Такая межуровневая «включенность» соответствует так называемым «межуровневым медиаторам интероперабельности» (*от лат. mediator* – посредник) т. е. совместным процессам, категориям и объектам ОТС, которые связывают воедино различные уровни интероперабельности, при этом различные аспекты этих объектов рассматриваются отдельно на различных уровнях.

Так, информационные процессы включены во все три уровня интероперабельности. Это обусловлено их универсальностью, а также тем, что различные аспекты информационных процессов по-разному рассматриваются на различных уровнях интероперабельности. На организационном уровне информационные процессы рассматриваются как часть бизнес-процессов, а также как часть процессов информационного взаимодействия между персоналом. На семантическом уровне рассматриваются вопросы правильной интерпретации смысла информации во взаимодействиях «человек – человек», «человек – ТС» и «ТС – ТС», вопросы извлечения из информации ее смысла и знаний ИТС, а также обмен информацией между РТС и ИТС, а также между ними и человеком. На техническом уровне уже рассматриваются вопросы конкретной реализации информационных процессов в виде конечных функций аппаратно-электронных или программных средств в составе информационно-управляющих систем.

Персонал организации на организационном уровне рассматривается в аспектах вовлеченности в документооборот и в информационное взаимодействие по управленческой иерархии в своей и в других организациях. На семантическом уровне люди, как «элементы персонала», рассматриваются в аспектах влияния различных факторов (способностей, знания языков и профессиональной терминологии, уровня образования, отношения к определенной культуре, национальности, религии и т. д.) на интерпретацию смысла информации. Здесь же учитываются особенности информационного взаимодействия «человек – человек», «человек – ТС» и «человек – ТС – человек» в аспектах правильной интерпретации смысла передаваемой/получаемой информации, в том числе – проходящей многократную ретрансляцию и обработку ТС.

ИТС на семантическом уровне рассматриваются в аспектах взаимодействия «человек – ИТС», извлечения из информации ее смысла и знаний автоматизированными интеллектуальными способами, а также обмен информацией между ИТС и РТС. На техническом уровне рассматриваются вопросы конкретной реализации ИТС в виде интеллектуальных функций аппаратно-электронных или программных средств в составе систем поддержки принятия решений или информационно-управляющих систем.

Данные на семантическом уровне рассматриваются в аспектах извлечения из них информации, интерпретации ее смысла и формирования знаний со стороны ИТС. На техническом уровне рассмат-

риваются вопросы формирования, сбора и передачи, хранения и архивации, обработки, использования и представления данных, как информации в формализованной знаково-символьной форме в виде конечных функций аппаратно-электронных или программных средств в составе информационно-управляющих систем.

Заключение

В данной работе представлена структурно-функциональная модель интероперабельности ОТС, охватывающая основные взаимодействующие процессы, категории, объекты и уровни интероперабельности. В модели выделены факторы, влияющие на интероперабельность на семантическом, организационном и техническом уровнях. Рассмотрена интероперабельность основных процессов, категорий и объектов в составе структурно-функциональной модели. Представленная модель отражает с необходимой полнотой взаимодействие ОТС в основных содержательных аспектах, но при этом носит обобщенный и в наименьшей степени формализованный характер. Однако эта модель может служить базой для дальнейших исследований, проводимых в целях повышения качества интероперабельности при взаимодействии ОТС на семантическом, организационном и техническом уровнях. В ходе дальнейших исследований целесообразно рассмотреть задачи разработки элементов научно-методического аппарата, обеспечивающих повышение качества интероперабельности при взаимодействии различных ОТС и их компонентов.

Список источников

1. Гуляев Ю.В., Олейников А.Я., Филинов Е.Н. Развитие и применение открытых систем в Российской Федерации // Информационные технологии и вычислительные системы. 1995. № 1. С. 32–43.
2. Гуляев Ю.В., Олейников А.Я. Технология открытых систем – основное направление информационных технологий // Информационные технологии и вычислительные системы. 1997. № 3. С. 4–14.
3. Батоврин В.К., Васютювич В.В., Гуляев Ю.В., Козлов В.А. Технология открытых систем. М.: Янус-К, 2004. 288 с.
4. Калинин Л.А., Брюхов Д.О., Коголовский М.Р., Кравченко Д.В., Романов В.Ю., Рябов Ю.Ф., Рябшопко А.А., Сухомлин В.А., Чабан И.А. Обеспечение информационной и научно-методической поддержки проектов РФФИ на основе объектных технологий для создания открытых интероперабельных информационных и вычислительных ресурсов для фундаментальной науки и образования. Отчет о НИР № 97-07-90369. РФФИ. 1997.
5. Брюхов Д.О., Задорожный В.И., Калинин Л.А., Курошев М.Ю., Шумилов С.С. Интероперабельные информационные системы: архитектуры и технологии // Системы управления базами данных. 1995. № 4. URL: <https://www.osp.ru/dbms/1995/04/13031453> (дата обращения 04.08.2023)
6. Калинин Л.А. СИНТЕЗ – язык определения, программирования и проектирования интероперабельных сред неоднородных информационных ресурсов. М.: ИПИ РАН, 1993. 113 с.
7. Kalinichenko L. A declarative framework for capturing dynamic behaviour in heterogeneous interoperable information resource environment // Proceedings of the 3rd International Workshop on Research Issues in Data Engineering: Interoperability in Multidatabase Systems (RIDE-IMS 1993, Vienna, Austria, 19–20 апреля 1993). IEEE, 1993. PP. 249–252. DOI:10.1109/RIDE.1993.281913
8. Батоврин В.К. Использование принципов открытых систем в системной инженерии // Информационные технологии и вычислительные системы. 2006. № 3. С. 19–41.
9. 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
10. Анциперов В.Е., Каменщиков А.А., Кочуков А., Никитов Д.С., Олейников А.Я. Функциональная стандартизация при создании медицинских информационных систем // Врач и информационные технологии. 2006. № 4. С. 15–18.
11. Олейников А.Я., Разинкин Е.И. Профиль интероперабельности в области электронной коммерции // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. № 4. С. 74–79.

12. Олейников А.Я., Меркулова А.В. К вопросу о построении интегрированной корпоративной информационной среды вуза // Журнал радиоэлектроники. 2005. № 5. С. 4.
13. Батоврин В.К., Васюттович В.В., Журавлев Е.Е., Олейников А.Я., Петров А.Б., Соколов С.А., Теряев Е.Д. Построение профиля информационных, вычислительных и телекоммуникационных ресурсов для обеспечения фундаментальных исследований // Журнал радиоэлектроники. 2001. № 11. С. 8.
14. Журавлев Е.Е., Иванов С.В., Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Разинкин Е.И., Рубан К.А. Интероперабельность в облачных вычислениях // Журнал радиоэлектроники. 2013. № 9. С. 14.
15. Олейников А.Я., Егоров Г.А., Журавлев Е.Е., Королев А.С., Кочуков А.Н., Широбокова Т.Д. Применение технологии открытых систем для создания интегрированных информационных систем промышленных предприятий // Радиопромышленность. 2006. № 2. С. 90–107.
16. Башлыкова А.А., Каменщиков А.А., Олейников А.Я. О подходах к разработке профилей интероперабельности в военной области // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. № 4. С. 112–121.
17. Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Чусов И.И., Широбокова Т.Д. Проблема интероперабельности в информационных системах военного назначения // Журнал радиоэлектроники. 2016. № 11. С. 16.
18. Башлыкова А.А., Каменщиков А.А., Олейников А.Я. Обеспечение интероперабельности как средства бесшовной интеграции функциональных подсистем в составе перспективных автоматизированных систем военного назначения // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 9. С. 18.
19. Макаренко С.И., Карутин А.Н. Перспективы и проблемные вопросы обеспечения интероперабельности интегрированных космических систем // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 4. С. 228–247. DOI:10.24412/2410-9916-2021-4-228-247
20. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
21. Олейников А.Я., Растягаев Д.В., Фомин И.А. Основные положения концепции обеспечения интероперабельности сетевых информационных управляющих систем // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2020. № 3. С. 122–131. DOI:10.25586/RNU.V9187.20.03.P.122
22. Олейников А.Я. Актуальное состояние проблемы интероперабельности // ИТ-Стандарт. 2020. № 2(23). С. 37–42.
23. Козлов С.В. Процессные аспекты интероперабельности интегрированных систем управления // ИТ-Стандарт. 2019. № 1(18). С. 25–30.
24. Башлыкова А.А., Зацаринный А.А., Каменщиков А.А., Козлов С.В., Олейников А.Я., Чусов И.И. Интероперабельность как научно-методическая и нормативная основа бесшовной интеграции информационно-телекоммуникационных систем // Системы и средства информатики. 2018. Т. 28. № 4. С. 61–72. DOI:10.14357/08696527180407
25. Башлыкова А.А., Гаджикулиев Т.А., Олейников А.Я. Решение проблемы интероперабельности в проектах «умного города» // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15. № 3. С. 767–774. DOI:10.25559/SITITO.15.201903.767-774
26. Макаренко С.И. Интероперабельность человеко-машинных интерфейсов. СПб.: Научные технологии, 2023. 185 с.
27. Дроговоз В.А. Совершенствование оценки показателей интероперабельности сложных систем при помощи сценарного моделирования // Сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», посвященной 70-летию кафедры радиофизики ВГУ (Воронеж, Россия, 18–20 апреля 2023). Т. 5. Воронеж: ВГУ, 2023. С. 361–369.
28. Дроговоз В.А. Обеспечение интероперабельности электронного здравоохранения в условиях цифровой трансформации экономики России // Сборник трудов XII Международной научной конференции «ИТ-Стандарт 2023» [18–19 апреля 2023, Москва, Россия]. М.: Издательство «Проспект», 2023. С. 89–97.
29. Дроговоз В.А. Концептуальные аспекты обеспечения интероперабельности электронного здравоохранения в условиях цифровой трансформации экономики России // ИТ-стандарт. 2023. № 2. С. 51–61.
30. Акаткин Ю.М., Ясиновская Е.Д. Цифровая трансформация государственного управления: Датацентричность и семантическая интероперабельность. М.: URSS, 2019. 724 с.
31. Франгулова Е.В. Классификация подходов к интеграции и интероперабельности информационных систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 2. С. 176–180.
32. Макаренко С.И., Соловьева О.С. Основные положения концепции семантической интероперабельности сетевых информационных систем // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 4. DOI:10.30898/1684-1719.2021.4.10
33. Макаренко С.И., Соловьева О.С. Семантическая интероперабельность взаимодействия элементов в сетевых информационных системах // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 6. DOI:10.30898/1684-1719.2021.6.3
34. Макаренко С.И. Семантическая совместимость человеческих агентов при обеспечении интероперабельности в сетевых информационных системах // Журнал радиоэлектроники. 2022. № 1. DOI:10.30898/1684-1719.2022.1.1
35. Макаренко С.И. Семантическая интероперабельность человеко-машинных интерфейсов в сетевых информационных системах // Журнал радиоэлектроники. 2022. № 2. DOI:10.30898/1684-1719.2022.2.4
36. Макаренко С.И. Совместимость и переносимость данных при обеспечении технической интероперабельности сетевых информационных систем // Журнал радиоэлектроники. 2022. № 7. DOI:10.30898/1684-1719.2022.7.1
37. ГОСТ Р ИСО 11354-1-2012. Усовершенствованные автоматизированные технологии и их применение. Требования к установлению интероперабельности процессов промышленных предприятий. Часть 1. Основа интероперабельности предприятий. М.: Стандартинформ, 2014.
38. ISO 11354-1:2011 (2011-09). Advanced automation technologies and their applications – Requirements for establishing manufacturing enterprise process interoperability – Part 1: Framework for enterprise interoperability.

39. ГОСТ Р 70569-2022. Информационные технологии. Сетецентрические информационно-управляющие системы. Интероперабельность. М.: Российский институт стандартизации, 2022.
40. ГОСТ Р 59797-2021. Информационные технологии. Сложные системы. Интероперабельность. Основные положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с.
41. Макаренко С.И. Справочник научных терминов и обозначений. СПб.: Научно-технические технологии, 2019. 254 с.

References

1. Gulyaev Yu.V., Oleinikov A.Ya., Filinov E.N. Development and application of open systems in the Russian Federation. *Information Technologies and Computing Systems*. 1995;1:32–43.
2. Gulyaev Yu.V., Oleinikov A.Ya. Open systems technology – the main direction of information technology. *Information Technologies and Computing Systems*. 1997;3:4–14.
3. Batovrin V.K., Vasyutovich V.V., Gulyaev Yu.V., Kozlov V.A. *Open Systems Technology*. Moscow: Janus-K Publ.; 2004. 288 p.
4. Kalinichenko L.A., Bryukhov D.O., Kogalovsky M.R., Kravchenko D.V., Romanov V.Yu., Ryabov Yu.F., Ryaboshapko A.A., Sukhomlin V.A., Chaban I.A. *Providing information and scientific and methodological support for RFBR projects based on object technologies for creating open interoperable information and computing resources for fundamental science and education*. Research Report No. 97-07-90369. RFFI. 1997.
5. Bryukhov D.O., Zadorozhny V.I., Kalinichenko L.A., Kuroshev M.Yu., Shumilov S.S. Interoperable information systems: architectures and technologies. *Database management systems*. 1995;4 URL: <https://www.osp.ru/dbms/1995/04/13031453> [Accessed 08.04.2023]
6. Kalinichenko L.A. SYNTHESIS – language for defining, programming and designing interoperable environments of heterogeneous information resources. Moscow: IPI RAN Publ.; 1993. 113 p.
7. Kalinichenko L. A declarative framework for capturing dynamic behaviour in heterogeneous interoperable information resource environment. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Research Issues in Data Engineering: Interoperability in Multidatabase Systems, RIDE-IMS 1993, 19–20 апреля 1993, Vienna, Austria*. IEEE; 1993. p.249–252. DOI:10.1109/RIDE.1993.281913
8. Batovrin V.K. Using the principles of open systems in system engineering. *Information Technologies and Computing Systems*. 2006;3:19–41.
9. Makarenko S.I., Oleynikov A.Y., Chernitskaya T.E. Models of interoperability assessment for information systems. *Systems of Control, Communication and Security*. 2019;4:215–245. DOI:10.24411/2410-9916-2019-10408
10. Antsiperov V.E., Kamenshchikov A.A., Kochukov A., Nikitov D.S., Oleinikov A.Ya. Functional standardization in the creation of medical information systems. *Medical doctor and information technologies*. 2006;4:15–18.
11. Oleynikov A.Ya., Razinkin E.I. The interoperability profile in the electronic commerce. *Computer Science and Control*. 2013;4:74–79.
12. Oleynikov A.Y., Merkulova A.V. On the issue of building an integrated corporate information environment of the university. *Journal of Radio Electronics*. 2005;5:4.
13. Batovrin V.K., Vasyutovich V.V., Zhuravlev Ye.Ye., Oleynikov A.Y., Petrov A.B., Sokolov S.A., Teryayev Ye.D. Building a profile of information, computing and telecommunications resources to support fundamental research. *Journal of Radio Electronics*. 2001;11:8.
14. Zhuravlev Ye.Ye., Ivanov S.V., Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Y., Razinkin E.I., Ruban K.A. Interoperability in cloud computing. *Journal of Radio Electronics*. 2013;9:14.
15. Oleynikov A.Ya., Yegorov G.A., Zhuravlev Ye.Ye., Korolev A.S., Kochukov A.N., Shirobokova T.D. Application of open systems technology to create integrated information systems of industrial enterprises. *Radiopromyshlennost*. 2006;2:90–107.
16. Bashlykova A.A., Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Ya. On approaches to the development of interoperability profiles in the military field. *Computer Science and Control*. 2017;4:112–121.
17. Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Y., Chusov I.I., Shirobokova T.D. The problem of interoperability in military information systems. *Journal of Radio Electronics*. 2016;1:16.
18. Bashlykova A.A., Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Y. Ensuring interoperability as a means of seamless integration of functional subsystems as part of advanced automated military systems. *Journal of Radio Electronics*. 2018;9:18.
19. Makarenko S.I., Karutin A.N. Prospects and problematic issues of ensuring the interoperability of integrated space systems. *Systems of Control, Communication and Security*. 2021;4:228–247. DOI:10.24412/2410-9916-2021-4-228-247
20. ГОСТ Р 55062-2012. *Information technologies. Industrial automation systems and integration. Interoperability. Basic principles*. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. 12 p.
21. Oleynikov A.Ya., Rastyagayev D.V., Fomin I.A. Basic provisions of the concept of ensuring the interoperability of the network information and control systems. *Bulletin of RosNOU*. 2020;3:122–131. DOI:10.25586/RNU.V9187.20.03.P.122.
22. Oleynikov A.Ya. Current status of the interoperability problem. *IT-Standart*. 2020;2(23):37–42.
23. Kozlov S.V. Process aspects of interoperability integrated control systems. *IT-Standart*. 2019;1(18):25–30.
24. Bashlykova A.A., Zatsarinnyy A.A., Kamenshchikov A.A., Kozlov S.V., Oleynikov A.Ya., Chusov I.I. Interoperability as a scientific, methodical, and regulatory base of information and telecommunication systems seamless integration. *Systems and Means of Informatics*. 2018;28(4):61–72. DOI:10.14357/08696527180407
25. Bashlykova A.A., Gadzhikuliyevev T.A., Oleynikov A.Ya. Solution of interoperability problems in smart city projects. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019;15(3):767–774. DOI:10.25559/SITITO.15.201903.767-774
26. Makarenko S.I. *Interoperability of human-machine interfaces*. St. Petersburg: Naukoyemkiye tekhnologii Publ.; 2023. 185 p.


27. Drogozov V.A. Improving the assessment of interoperability indicators of complex systems using scenario modeling. *Proceedings of the XXIX International Scientific and Technical Conference on Radar, Navigation, Communication, Voronezh, Russia, 18–20 April 2023, vol.5*. Voronezh: VGU Publ.; 2023. p.361–369.
28. Drogozov V.A. Ensuring the interoperability of e-health in the context of the digital transformation of the Russian economy. *Proceedings of the XII International Scientific Conference on IT Standard 2023*. Moscow: Prospekt Publ.; 2023. p.89–97.
29. Drogozov V.A. Conceptual aspects of ensuring the interoperability of e-health in the context of digital transformation of the Russian economy. *IT-Standart*. 2023;2:51–61.
30. Akatkin Yu.M., Yasinovskaya E.D. *Digital Transformation of Public Administration: Datacentricity and Semantic Interoperability*. Moscow: URSS Publ.; 2019. 724 p.
31. Frangulova E.V. Classification of approaches to integration and interoperability of information systems. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer technology and informatics*. 2010;2:176–180.
32. Makarenko S.I., Solovieva O.S. The main provisions of the concept of semantic interoperability of network-centric systems. *Journal of Radio Electronics*. 2021;4. DOI:10.30898/1684-1719.2021.4.10
33. Makarenko S.I., Solovieva O.S. Semantic interoperability of interaction of elements in network-centric systems. *Journal of Radio Electronics*. 2021;6. DOI:10.30898/1684-1719.2021.6.3
34. Makarenko S.I. Semantic interoperability human agents in net-centric systems. *Journal of Radio Electronics*. 2022;1. DOI:10.30898/1684-1719.2022.1.1
35. Makarenko S.I. Semantic interoperability of human-machine interfaces in net-centric systems. *Journal of Radio Electronics*. 2022;2. DOI:10.30898/1684-1719.2022.2.4
36. Makarenko S.I. Data compatibility and portability for ensuring technical interoperability of network-centric systems. *Journal of Radio Electronics*. 2022;7. DOI:10.30898/1684-1719.2022.7.1
37. GOST R ISO 11354-1-2012. *Advanced automation technologies and their applications. Requirements for establishing manufacturing enterprise process interoperability. Part 1. Framework for enterprise interoperability*. Moscow: Standartinform Publ.; 2014.
38. ISO 11354-1:2011. *Advanced automation technologies and their applications – Requirements for establishing manufacturing enterprise process interoperability – Part 1: Framework for enterprise interoperability*; 2011-09.
39. GOST R 70569-2022. *Information technologies. Network-centric information-control systems. Interoperability*. Moscow: Rossiyskiy institut standartizatsii Publ.; 2022.
40. GOST R 59797-2021. *Information technology. Complex systems. Interoperability. Basic provisions*. Moscow: Rossiyskiy institut standartizatsii Publ.; 2021. 11 p.
41. Makarenko S.I. *Reference book of scientific terms and notation*. St. Petersburg: Naukoyemkiye tekhnologii Publ.; 2019. 254 p.

Статья поступила в редакцию 31.07.2023; одобрена после рецензирования 23.08.2023; принята к публикации 06.09.2023.


The article was submitted 31.07.2023; approved after reviewing 23.08.2023; accepted for publication 06.09.2023.

Информация об авторах:

**МАКАРЕНКО
Сергей Иванович**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информационной безопасности Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
 <https://orcid.org/0000-0001-9385-2074>

**НЕСТЕРОВ
Алексей Альбертович**

начальник управления организации научной работы и подготовки научных кадров Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
 <https://orcid.org/0009-0006-0793-9549>