

УДК 004.7

## Модели интероперабельности информационных систем

Макаренко С. И., Олейников А. Я., Черницкая Т. Е.

**Актуальность.** Интеграция информационных систем в рамках единого информационного пространства актуализирует вопросы решения проблемы интероперабельности. В настоящее время в России исследованию этой важной проблемы уделяется недостаточно внимания, несмотря на наличие разработанного национального стандарта ГОСТ Р 55062-2012, в котором сформулирована эталонная модель интероперабельности. Однако дальнейшее развитие этой модели может вестись только с учетом мирового опыта формализации свойства интероперабельности, его различных аспектов и параметров. **Целью данной работы** является представление и анализ имеющихся моделей интероперабельности. **Результаты и их новизна.** В статье представлены имеющиеся в настоящее время подходы к формализации свойства интероперабельности. Проведен анализ различных технологий обеспечения интероперабельности, моделей интероперабельности: LISI и SCOPE моделей, концепции DODAF, а также отечественной модели, представленной в ГОСТ Р 55062-2012. Показано, что одним из дальнейших направлений развития отечественной модели интероперабельности является адаптация и интеграция в нее частных параметров из SCOPE-модели. Представлен один из вариантов такой интеграции с ориентацией на область сетевых систем. **Практическая значимость.** Представленный в работе анализ будет полезен техническим специалистам для решения задач интеграции информационных систем различного типа, а также при выработке технологических решений, реализующих единое информационное пространство.

**Ключевые слова:** модель, модель интероперабельности, интероперабельность, единое информационное пространство, информационная система, сетевая система, открытая система, LISI, SCOPE, DODAF, ГОСТ Р 55062-2012.

### Введение

В настоящее время развитие информационных систем ведется в направлении их интеграции и глобализации. Информационные системы, интегрируемые в рамках создания единого информационного пространства (ЕИП) все более широко применяются в таких наукоемких областях, как экономика, промышленность, обороноспособность. Первостепенным, можно сказать, ключевым принципом информационных систем на основе ЕИП служит интероперабельность, как свойство беспроводной информационной интеграции отдельных элементов и подсистем. Согласно общепринятому определению, данному организациями по стандартизации [1, 2]: *интероперабельность* – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена. При этом ос-

---

#### Библиографическая ссылка на статью:

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.

#### Reference for citation:

Makarenko S. I., Oleynikov A. Y., Chernitskaya T. E. Models of interoperability assessment for information systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 4, pp. 215-245. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10408 (in Russian).

нову интероперабельности составляют наборы стандартов информационно-коммуникационных технологий (ИКТ-стандартов) – профили.

Таким образом, проблема обеспечения интероперабельности имеет фундаментальное значение для развития теории построения глобальных информационных систем, поскольку обеспечение интероперабельности в перспективных проектах позволит на практике обеспечить интеграцию существующих информационных и телекоммуникационных компонентов этих систем, а также заложить основу для информационного сопряжения вновь создаваемых систем.

Практическая значимость и важность проблемы обеспечения интероперабельности подтверждается наличием в ведущих зарубежных странах документов, таких как «European Interoperability Framework» [2], а также обязательным включением требований к интероперабельности в технические задания на разработку автоматизированных систем управления (АСУ) в различных областях (в космонавтике, энергетике, здравоохранении, транспорте, сетевых системах управления войсками и т.д.), телекоммуникационных систем, комплексов вооружения. Актуальность проблемы интероперабельности в РФ подтверждается включением исследований по данной тематике, а также задач на разработку соответствующих стандартов, в Программу фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. (п. 34) [3].

В настоящее время, несмотря на то, что за рубежом обеспечение интероперабельности является неотъемлемым компонентом технической политики в области информатизации, о чем свидетельствует, в частности, большое количество работ (например, [4-11]), опубликованных за последние 10 лет, в России, этой важной проблеме уделяется незаслуженно мало внимания. Имеются лишь отдельные русскоязычные публикации по тематике интероперабельности [12-21], однако они носят относительно разрозненный характер и не связаны единым направлением исследований. Наиболее систематизированные отечественные исследования по интероперабельности ведутся в Институте радиоэлектроники им. В.А. Котельникова РАН. Результаты данных исследований изложены в работах [22-29], которые были положены в основу разработки отечественного стандарта по интероперабельности – ГОСТ Р 55062-2012 «Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения» [30]. Вместе с тем, дальнейшее развитие отечественных фундаментальных исследований в области интероперабельности, особенно с учетом нынешних тенденций активного развития сетевых систем, на наш взгляд, должно быть основано на формировании моделей интероперабельности, которые, в свою очередь, могут служить основой частных профилей. С учетом вышесказанного, целью данной работы является представление и анализ имеющихся моделей интероперабельности открытых информационных систем, а также формирование предварительных предложений по созданию проблемно-ориентированной отечественной эталонной модели интероперабельности, с учетом тенденций развития сетевых систем.

Материал статьи был декомпозирован на следующие разделы.

1. Возникновение и развитие теоретических подходов к формализации свойства интероперабельности.
2. LISI-модель (Levels of Information Systems Interoperability).
3. SCOPE-модель (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises model for interoperability assessment).
4. Отечественная эталонная модель интероперабельности.
5. Направления развития отечественной эталонной модели интероперабельности за счет заимствования подходов и параметров SCOPE-модели.

### **1. Возникновение и развитие теоретических подходов к формализации свойства интероперабельности**

В 90-х годах XX в. зародилась и стремительно развивалась концепция сетецентрического управления войсками NCW (Net-Centric Warfare), которая была положена в основу строительства сначала вооруженных сил (ВС) США, а в дальнейшем – ВС ведущих, технически развитых стран. Данная концепция была основана на революционных достижениях в области информатизации и предполагала объединение всех организационно-технических элементов ВС в единое информационное пространство – сетецентрическую среду.

Такое объединение требовало выработки единых подходов сначала к информационной совместимости объединяемых сил и средств, а затем к более общему системному понятию – интероперабельности.

В руководящих документах Министерства обороны (МО) США, того времени, понятие «интероперабельность» определялась по-разному [31]:

*интероперабельность* – способность систем или сил предоставлять/принимать информационные услуги к/от других систем или сил, а также использовать совместно информационные услуги, таким образом, чтобы они могли эффективно совместно функционировать или действовать (руководящий документ МО США – Joint Pub 1-02);

*интероперабельность* – условие, достигнутое между радиоэлектронными и телекоммуникационными системами, когда информация или информационные услуги могут предоставляться с требуемым качеством между пользователями различных систем (руководящий документ МО США – Joint Pub 1-02);

*интероперабельность* – способность согласованно действовать при выполнении поставленных задач (руководящий документ НАТО – AAR-6);

*интероперабельность* – способность двух или более систем, а также их элементов обмениваться информацией и совместно использовать ее (стандарты IEEE).

Необходимо отметить, что в руководящих документах, широко используется два понятия – интероперабельность и совместимость. При этом между двумя этими понятиями нет четкого разделения. Интероперабельность, применительно к информационным системам является более широким понятием чем «совместимость» и учитывает не только саму возможность информационного взаимодействия между пользователями, системами, силами и организациями,

но и параметры их взаимосвязи в техническом, семантическом и организационном аспектах. Использование понятия интероперабельности становится более предпочтительным по мере увеличения степени информационной взаимозависимости объединяемых систем. Способность адекватно оценить эту степень взаимозависимости имеет важное значение, как для понимания проблемы обеспечения интероперабельности, так и для разработки соответствующей архитектуры, решающей эту проблему.

Проблема обеспечения интероперабельности информационных систем не является новой, о чем свидетельствуют многочисленные исследования, которые ведутся исследовательскими организациями, органами по стандартизации, правительственными организациями и консорциумами на протяжении последних десятков лет.

Первоначально существовало множество технологий обеспечения интероперабельности, которые не были увязаны в какую-либо формализованную систему (рис. 1). Одним из вариантов декомпозиции этих технологий является разделение их на 2-а обобщённых подхода по направлению технологического внедрения [31]:

- *нисходящий подход* (top-down approach), или, как его еще называют, подход «сверху – вниз» – решает проблему интероперабельности сначала с точки зрения архитектуры системы в целом, а в дальнейшем – для отдельных элементов и процессов системы. В этом подходе интероперабельность, как правило, является ключевым внутренним свойством, при этом утрата этого свойства влечет неспособность системы достичь цели своего функционирования;
- *восходящий подход* (bottom-up approach), или, как его еще называют, подход «снизу – вверх» – ориентирован на решение проблемы интероперабельности путем принятия конкретных технологий или стандартов формирования, хранения, передачи, обработки и представления информации. Данный подход в большей степени сосредоточен на технических аспектах интероперабельности, а также на тех преимуществах, которые она обеспечивает, будучи внедренной в различные системы.

Еще одним вариантом декомпозиции технологий обеспечения интероперабельности является разделение их по признаку ориентированности на внутренние или внешние коммуникации системы [31]:

- *общесистемный подход* (commonality-based approach) – ориентирован на решение проблемы интероперабельности в рамках определенной системы, путем формирования единой среды информационного взаимодействия ее компонентов;
- *интерактивный подход* (system interaction-based approach) – ориентирован на решение проблемы интероперабельности в точках сопряжения различных систем между собой, делая акцент на достижении интероперабельности тех систем, в которых уже используются различные по своей сути технологии или стандарты формирования, хранения, передачи обработки и представления информации.

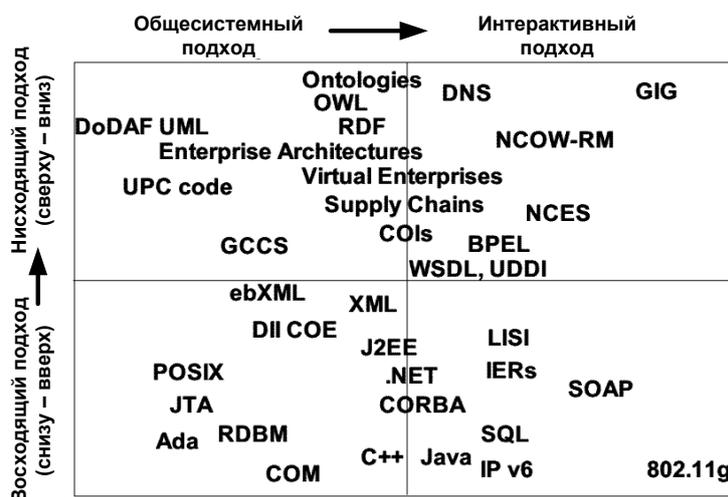


Рис. 1. Классификация технологий обеспечения интероперабельности по различным подходам [31]

В начале 2003 г. МО США было разработано Руководство по объединенной совместной интеграции и развитию систем – JCIDS (Joint Capability Integration and Development System) [33], которое формализовало требования к интероперабельности и процессы разработки различных систем, создаваемых в интересах МО США. Фактически Руководство JCIDS формализовало процессы разработки гибких открытых систем с управляемой архитектурой. В дальнейшем МО США дополнило Руководство JCIDS концепцией «Net Ready», в которой в качестве основного показателя эффективности была введена производительность объединенной системы – NR KPP («Net Ready» Key Performance Parameter). Данный показатель позволил впервые ввести количественные категории качества интероперабельности для объединяемых систем и заменил формальные требования IER (Information Exchange Requirements) к процессам обмена информацией, которые были прописаны в более ранних версиях Руководства JCIDS.

Следуя опыту МО США, соответствующие комитеты НАТО провели исследования технико-экономического потенциала сети НАТО и выработали концепцию ЕИП НАТО – NNEC (NATO Network Enabled Capability) [34], а в дальнейшем – документ NATO Interoperability Standards and Profiles [35-37], в которых были прописаны вопросы обеспечения интероперабельности различных систем военного назначения НАТО. В концепции NNEC рассматривалась возможность формирования модели зрелости НАТО – NML-модели (NATO Maturity Level), в которой эффективность от внедрения интероперабельности оценивалась аналогично показателю NR KPP в концепции МО США «Net Ready».

Основным нововведением концепций «Net Ready» и NNEC являлось то, что объединяемые элементы системы должны были формировать и передавать в единый реестр системы формальное описание предоставляемых ими информационных услуг, а также протоколов информационного взаимодействия с ними, независимо от того, какие другие элементы эти услуги будут использовать. Это позволяет отказаться от взаимодействия элементов по принципу «точка –

точка», и перейти к более гибкому обеспечению интероперабельности элементов системы на основе единого реестра информационных услуг и форматов обмена данными при их предоставлении.

Дальнейшее развитие руководящих документов в области обеспечения интероперабельности привело к созданию в 2006 г. концепции по построению архитектуры МО США – DODAF (DOD Architecture Framework) [38], которая в процессе своего развития была доработана до версии 2.0. Концепция DODAF развивала сетевые подходы к военному управлению, основанные на интероперабельности сил и средств военного назначения, а также объединяла различные предложения, ранее разработанные в рамках других документов – предыдущей концепции по архитектуре МО США MODAF (Ministry of Defense Architecture Framework) [39] и концепции по построению архитектуры открытых рабочих групп TOGAF (The Open Group Architecture Framework) [40].

В 2000-х годах МО США приступило к созданию глобальной информационно-вычислительной сети GIG (Global Information Grid), которая является информационно-технической основой сетевых систем управления [32]. В рамках GIG было сформировано определенное множество сетевых корпоративных услуг NCEs (Net-Centric Enterprise Services), которые предоставляли пользователям GIG разнообразные интегрированные сервисы по формированию, хранению, передаче, обработке и представлению информации (рис. 2). Для формализации проблемных вопросов обеспечения интероперабельности элементов и процессов GIG в МО США была разработана модель уровней интероперабельности информационных систем – LISI-модель (Levels of Information Systems Interoperability) [41].

Опыт использования LISI-модели в процессе проектирования GIG был настолько удачным, что в дальнейшем данная модель была доработана и применена уже в масштабе ВС НАТО как модель промышленной консультативной группы НАТО – NIAG-модель (NATO Industrial Advisory Group) [42]. В основу NIAG-модели была положена группа технических стандартов НАТО – STANAG (Standardization Agreement) унифицирующих процесс взаимодействия средств вооружения и военной техники (ВВТ) в различных ВС, входящих в Североатлантический альянс. При этом основные наработки, сделанные в области NIAG-модели, были в дальнейшем использованы консорциумом NCOIC (Network-Centric Operations Industry Consortium) при разработке модели оценки интероперабельности систем, возможностей, действий, программ и организаций – SCOPE-модели (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises model for interoperability assessment) [31].

Далее рассмотрим вышеупомянутые модели более подробно.

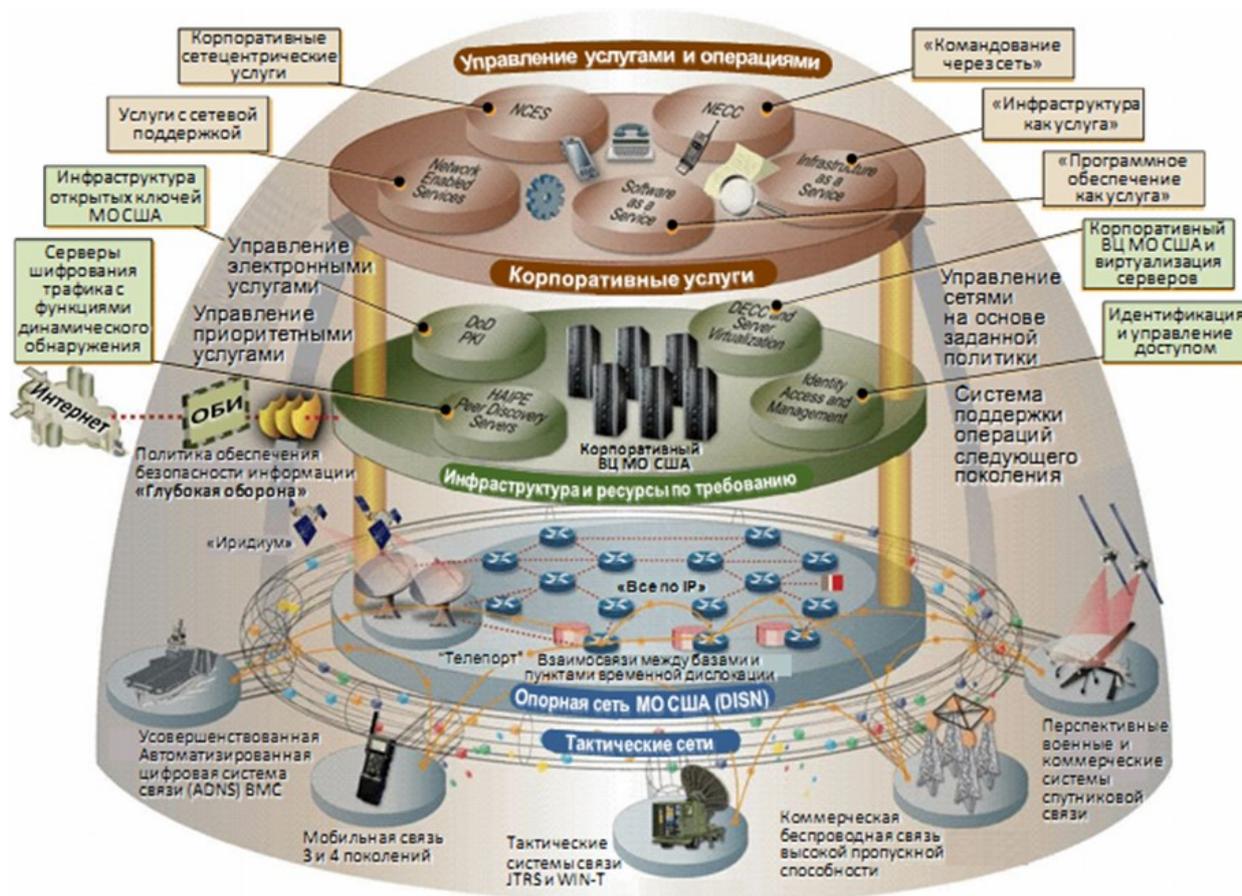


Рис. 2. Структура GIG [32]

## 2. LISI-модель

LISI-модель (Levels of Information Systems Interoperability Model) [41] была разработана МО США в 1998 г. для формализации процессов взаимодействия различных систем, а также для оценки способности систем к такому взаимодействию.

LISI-модель представлена в таблице 1 [41].

LISI-модель учитывает четыре параметра – PAID (Procedures, Applications, Infrastructure, Data), каждый из которых соответствует отдельному аспекту (attribute) интероперабельности:

- интероперабельности процедур (interoperability of procedures);
- интероперабельности приложений (interoperability of applications);
- интероперабельности инфраструктуры (interoperability of infrastructure);
- интероперабельности данных (interoperability of data).

Таблица 1 – LISI-модель [41]

| Уровни масштаба и способности к взаимодействию                                   |   |   | Отдельные аспекты интероперабельности   |   |  |  |                 |
|--|---|---|---|---|--|--|-----------------|
|  |   |   | Р   | А   | І  | Д  |                 |
|  |   |   | Интероперабельность процедур  | Интероперабельность приложений                              | Интероперабельность инфраструктуры               | Интероперабельность данных                     |                 |
| <b>Уровень универсальных систем</b><br>(уровень взаимодействия организаций)      | 4 | c | Транснациональные компании  | Полностью интерактивное взаимодействие между приложениями   | Многokrратно дублируемая и сложно связанная сеть | Международно совместимые форматы данных        |                 |
|  |   | b | Межправительственные организации  |   |  | Единые форматы данных                          |                 |
|  |   | a | Правительственные организации и подразделения МО                                      | Обмен инф. объектами и ресурсами                            |  |  |                 |
| <b>Уровень интегрированных систем</b><br>(уровень взаимодействия доменов)        | 3 | c | В отдельном домене (в группе организаций, в управлении, в агентстве, в службе и т.д.) | Обмен через общие сетевые ресурсы и файлы                   | Глобальные сети                                  | Совместимость в рамках СУБД                    |                 |
|  |   | b |   | Обмен через общую сетевую рабочую группу                    |  | Совместимость форматов данных в домене         |                 |
|  |   | a |   | Передача объектов и текста в режиме «копировать – вставить» |  |  |                 |
| <b>Уровень распределенных систем</b><br>(уровень функционального взаимодействия) | 2 | c | В отдельной организации   | На основе web-технологий                                    | Локальные сети                                   | Совместимость форматов данных в локальной сети |                 |
|  |   | b |   | Базовые операции пересылки файлов и документов              |  |  |                 |
|  |   | a | В отделе, рабочей группе и т.д.   | Обмен сообщениями через сеть                                | отдельная сеть                                   |  |                 |
| <b>Уровень связанных систем</b><br>(уровень взаимодействия «точка – точка»)      | 1 | d | В соответствии с регламентами орг. взаимодействия                                     | Обмен сообщениями   | Основной и резервный каналы передачи             | Базовые форматы для различных типов данных     |                 |
|  |   | c |   | Передача файлов   |  |  |                 |
|  |   | b | В соответствии с политикой инф. безопасности  | Обмен однотиповыми сообщениями (данные, голос, фото и т.д.) | Один канал передачи                              |  |                 |
|  |   | a |   |   |  |  |                 |
| <b>Уровень изолированных систем</b><br>(уровень ручного взаимодействия)          | 0 | d | Процедуры взаимодействия  |   | Существует возможность взаимодействия            | Стандартные форматы файлов                     |                 |
|  |   | c | Ручной обмен  | НАТО ур. 3  | Не определен                                     | Взаимодействие в ручном режиме                 | Частные форматы |
|  |   | b |   | НАТО ур. 2  |  |  |                 |
|  |   | a |   | НАТО ур. 1  |  |  |                 |
|  |   | 0 |   | Интероперабельность отсутствует                             |  |  |                 |

Эти параметры оцениваются по пятиуровневой качественной иерархической шкале, которая определяет масштаб и способность к взаимодействию элементов анализируемой системы между собой:

- уровень изолированных систем (isolated level), или как он еще называется «уровень ручного взаимодействия» (manual level) – взаимодействие ведется между отдельными пользователями системы в ручном режиме;
- уровень связанных систем (connected level), или, как он еще называется, «уровень взаимодействия «точка – точка» (peer-to-peer level) – взаимодействие между отдельными пользователями и техническими средствами системы ведется по принципу «точка – точка»;
- уровень распределенных систем (distributed level), или, как он еще называется, «уровень функционального взаимодействия» (functional level) – взаимодействие между элементами и подсистемами системы ведется с использованием технологий локальных сетей;
- уровень интегрированных систем (integrated level), или, как он еще называется, «уровень взаимодействия доменов» (domain level) – взаимодействие между элементами больших систем ведется с использованием технологий глобальных сетей;
- уровень универсальных систем (universal level), или, как он еще называется, «уровень взаимодействия организаций» (enterprise level) – полностью интерактивное взаимодействие больших систем по разветвленной сетевой инфраструктуре с высоким уровнем совместимости передаваемых данных.

Особенностью LISI-модели является то, что для обеспечения интероперабельности она заставляет разработчиков систем обеспечивать самый высокий уровень – уровень универсальных систем. В то же время, достижение этого уровня может быть экономически нецелесообразно. В отличие от LISI-модели, SCOPE-модель является более гибкой. Она позволяет найти баланс в уровне обеспечения интероперабельности, который наилучшим образом соответствует техническим, организационным и экономическим факторам, которые влияют на окончательный выбор архитектуры системы.

LISI-модель была разработана до того как концепция сетевидного управления получила широкое распространение в ВС США и НАТО. Данная модель преимущественно ориентирована на формализацию процессов организационно-технического взаимодействия с использованием сетевых технологий. Явный учет «сетевидности» при формальном описании интероперабельности, причем исходя из того, что свойство «сетевидности» является инвариантным по отношению к любым децентрализованным системам (а не является исключительно свойством систем военного назначения) привел к разработке SCOPE-модели.

### 3. SCOPE-модель

Консорциум по сетевым операциям NCOIC (Network-Centric Operations Industry Consortium) разработал модель оценки интероперабельности систем, возможностей, действий, программ и организаций – SCOPE-модель (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises model for interoperability assessment) [31]. Несмотря на то, что первоначально сетевые операции NCO (Network-Centric Operations) воспринимались исключительно в контексте их военного применения, в соответствии с концепцией SCOPE-модели понятие сетевых операций применимо к любой прикладной области, в которой используется сетевая архитектура и реализуются преимущества человеко-машинного информационного взаимодействия. К таким «гражданским» областям применения SCOPE-модели можно отнести:

- государственное и корпоративное управление;
- логистические системы;
- аппаратные и программные комплексы, построенные на основе сервис-ориентированной архитектуры SOA (Service Oriented Architecture).

В таких системах SCOPE-модель может быть использована для анализа и оценки преимуществ от обеспечения интероперабельности для различных компонент сетевых систем, как в техническом, так и в организационном аспектах.

Модель SCOPE предназначена для качественно-количественной оценки различных аспектов интероперабельности анализируемой системы в соответствии с определенным набором параметров (dimensions). Эти параметры организованы в виде определенной параметрической иерархии. На самом нижнем уровне иерархии каждый параметр соответствует определенному аспекту интероперабельности анализируемой системы и определяет этот аспект в виде количественных или качественных показателей. Особенностью SCOPE-модели является то, что в ней отдельные параметры интероперабельности не являются формально «вложенными» по мере возрастания иерархии, подобно элементам множества. Отдельные параметры, характеризующие различные аспекты интероперабельности, могут иметь различные показатели, быть качественными или количественными, для них не вводятся критерии предпочтительности и т.д., при этом они не свертываются в показатели более высокого уровня.

Предложенное в работе [31] формализованное описание интероперабельности в качестве SCOPE-модели не является полным. В связи с этим, в той же работе [31], указаны те аспекты интероперабельности, которые являются несомненно важными для сетевых систем, но описаны в рамках текущей версии SCOPE-модели недостаточно подробно, либо для их описания используются слабоформализованные качественные показатели, в то время как для практического использования предпочтительными являются количественные показатели.

Модель SCOPE на верхнем уровне иерархии состоит из 4-х групп параметров интероперабельности:

- 1) параметры сетевого взаимодействия (net-readiness) – характеризуют способность системы формировать сетевые структуры, а также управ-

- лять ими и информационными ресурсами в интересах обеспечения информационного взаимодействия объектов системы;
- 2) внутренние параметры системы (capability/domain-independent scope) – характеризуют внутренние параметры системы, которые определяют уровень ее интероперабельности;
  - 3) внешние параметры системы (capability/domain-dependent scope) – характеризуют такие внешние факторы как среду и другие системы, которые влияют на данную систему в части уровня ее интероперабельности;
  - 4) технико-экономические параметры (technical/economic feasibility) – описывают технологические решения, на основе которых достигается свойство интероперабельности, а также экономические аспекты целесообразности или риска от их внедрения.

Концептуальными отличиями этих групп является следующее:

- внутренние и внешние параметры системы определяют: «что?», «почему?» и «где?» необходимо использовать для обеспечения свойства интероперабельности; какие конкретно возможности в части организации взаимодействия необходимы, и каких целей это позволит достичь;
- параметры сетевого взаимодействия определяют способ реализации взаимодействия, т.е. «как?» это взаимодействие может быть реализовано;
- технико-экономические параметры определяют, какой части «идеальной интероперабельности» мы достигнем в зависимости от используемых технических решений и доступных экономических ресурсов. Данные параметры позволяют обосновать достижение технико-экономического компромисса, с учетом ограничений как на технические решения, так и на доступные экономические ресурсы.

В рамках каждой из групп верхнего уровня группа в SCOPE-модели предложены отдельные частные параметры, которые характеризуют, отдельные аспекты интероперабельности (рис. 3). При этом разработчики SCOPE-модели указывают, что они не признают окончательность SCOPE-модели, а надеются на ее дальнейшее развитие в направлениях более полного учета отдельных аспектов интероперабельности и расширения сферы охвата модели [31].

Основным замыслом при разработке SCOPE-модели являлось выделение ключевых параметров интероперабельности системы, декомпозиции этих параметров на качественные и/или количественные показатели, значения которых численно определяют уровень реализации того или иного аспекта интероперабельности. В результате приложения SCOPE-модели к конкретной системе появляется возможность численно оценить качество реализации отдельных аспектов интероперабельности, а также сформировать предложения организационного или технического характера, направленные на повышение интероперабельности.

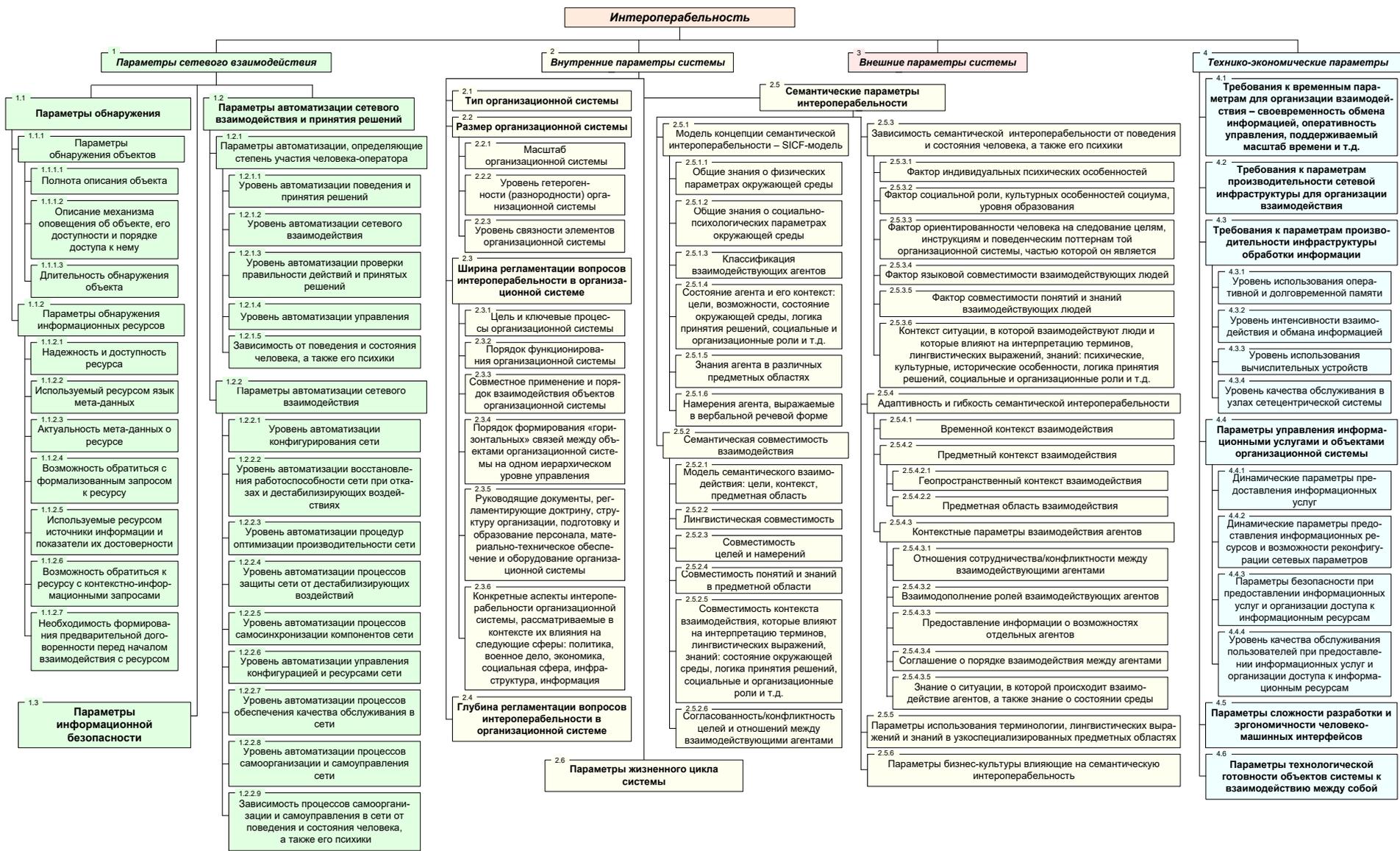


Рис. 3. SCOPE-модель интероперабельности [31]

При сравнении различных систем SCOPE-модель позволяет провести количественный анализ уровня интероперабельности, выявить недостатки и преимущества различных систем, как в качественном, так и в количественном виде, а также получить количественные оценки, выражающиеся в разности одних и тех же показателей, одной системы в сравнении с другой.

Анализ показателей SCOPE-модели показывает, что детализация различных аспектов интероперабельности в ней не является полной или окончательно завершенной. Это отмечают и сами разработчики данной модели в работе [31]. Таким образом, конечные пользователи систем и их разработчики при оценке интероперабельности систем, могут принять SCOPE-модель за основу, и предложить собственные параметры и показатели интероперабельности, которые расширят и дополнят группы показателей, представленных в SCOPE-модели, с акцентом на те аспекты интероперабельности, которые важны для конкретных пользователей или разработчиков.

Полная версия декомпозиции общих и частных параметров SCOPE-модели, так как это изложено в работе [31], представлена в приложении 1 к статье.

#### 4. Концепция DODAF

Развитие руководящих документов в области обеспечения интероперабельности сетевых систем военного назначения в МО США привело к созданию в 2006 г. концепции по архитектуре МО США – DODAF (DOD Architecture Framework) [38].

Концепция DODAF развивала сетевые подходы к военному управлению, основанные на интероперабельности сил и средств военного назначения, а также объединяла различные предложения, разработанные ранее, в том числе учитывала наработки по формализации параметров интероперабельности, представленные в SCOPE-модели.

В соответствии с концепцией DODAF, архитектуру системы в целом описывают в трех различных взаимосвязанных представлениях (view points) этой архитектуры: функциональное (operational), системное (system) и техническое (technical). Каждое из них используется для отражения различных архитектурных характеристик и атрибутов, при этом между ними есть определенные пересечения. Некоторые из совместных атрибутов как бы объединяют два различных представления, что обеспечивает целостность, единство и единообразие в описании архитектуры.

Функциональное представление включает описание задач и действий, функциональных элементов и информационных потоков, которые требуются для выполнения целей системы. При этом цели включают в себя как военные операции, так и традиционные бизнес-процессы. Это представление содержит описания, которые включают узлы выполнения операций и функций, элементы, назначенные задачи и действия, а также информационные потоки между узлами. Оно определяет тип данных при информационном обмене, частоту такого обмена, то, какие задачи и функции обеспечиваются этим обменом, а также характер информационного обмена.

Системное представление включает текстовые и графические описания систем и связей между ними, которые используются для обеспечения выполнения функций системы. Системное представление описывает связи системных ресурсов с функциональным представлением. Эти системные ресурсы поддерживают функциональные процессы и обеспечивают информационный обмен между узлами выполнения операций и функций.

Техническое представление определяет набор стандартов и правил, которыми руководствуются при создании и обеспечении взаимодействия между частями, элементами и подсистемами единой системы. Это представление обеспечивает технические руководства, на которых базируются технологические спецификации, создается программное и аппаратное обеспечение, а также разрабатываются линейки продуктов. Оно включает технические стандарты, соглашения по их реализации, опции при использовании стандартов, правила и критерии, организованные в профили, которые используются при создании систем и элементов.

Одним из способов интерпретации SCOPE-модели является ее «наложение» на функциональную, системную и техническую архитектуры, представленные в концепции DODAF. Это позволяет согласовать основные параметры интероперабельности, представленные в SCOPE-модели, с формализованными архитектурами концепции DODAF. Однако это не означает, что модель SCOPE «привязана» к концепции DODAF или следует из нее. Основные параметры интероперабельности определенные в SCOPE-модели, можно рассматривать как сопоставления между каждым из трех видов архитектуры DODAF, а именно:

- 1) параметры сетевого взаимодействия (net-readiness) SCOPE-модели помогают оценить уровень соответствия системной архитектуры (system architecture) стандартам и уровню развития технической архитектуры (technical architecture) в DODAF-концепции;
- 2) внутренние и внешние параметры системы (capability/domain-independent scope, capability/domain-dependent scope) помогают оценить, насколько информация, которая передается между объектами системы, удовлетворяет возможностям функциональной архитектуры (operational architecture), независимо от конкретных технологий, протоколов и аппаратно-программных решений технической архитектуры (technical architecture);
- 3) технико-экономические параметры (technical/economic feasibility) SCOPE-модели помогают оценить степень достижимости эксплуатационного потенциала системы с учетом стандартов и ограничений технической архитектуры (technical architecture) в DODAF-концепции. С другой стороны, эти же параметры характеризуют, какие требования должны предъявляться к технической архитектуре для достижения желаемого уровня эксплуатационных возможностей системы и цели ее функционирования.

На рис. 4 показана взаимосвязь SCOPE-модели и архитектур концепции DODAF. Данный рисунок также демонстрирует вопросы, которые ставятся и анализируются в рамках оценки частных параметров интероперабельности.

Форма представления информации и порядок обмена информацией как правило обуславливается локальными целями и функциональностью отдельных объектов системы. Объем представляемой информации определяется главным образом требованиями к полноте знаний о складывающейся ситуации и о состоянии среды функционирования. Уровни технологической готовности определяются доступностью технологических решений, необходимостью минимизации рисков взаимозависимости объектов, снижением затрат на разработку системы и обеспечением максимально возможной адаптации системы (в рамках ограничений по стоимости) к широкому кругу потенциальных потребностей клиентов. Техничко-экономические параметры обусловлены главным образом доступностью открытых стандартов, возможностями по снижению затрат на сетевую инфраструктуру и информационные услуги, возможностями по снижению вариативности и общих затрат ресурсов.



Рис. 4. Взаимосвязь SCOPE-модели и концепции DODAF [38]

## 5. Отечественная эталонная модель интероперабельности

В России эталонная модель интероперабельности систем была разработана в Институте радиоэлектроники им. В.А. Котельникова РАН и представлена в отечественном стандарте по интероперабельности – ГОСТ Р 55062-2012 «Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения» [30].

В соответствии с данной эталонной моделью взаимодействие информационных систем формализуется на трех иерархических уровнях интероперабельности (рис. 5) [30]:

- 1) организационный уровень – формализует прагматические аспекты и общие цели взаимодействия различных систем. На этом уровне согласуются глобальные и частные цели обмена информацией между системами, достигаются соглашения о сотрудничестве между админи-

стративными органами систем, которые хотят обмениваться информацией, хотя имеют отличающиеся внутреннюю структуру и организационные процессы. Формализация информационного обмена на данном уровне достигается за счет общих нормативно-правовых документов (соглашений, конвенций, договоров о сотрудничестве) описывающих цели и бизнес-процессы организации информационного взаимодействия;

- 2) семантический уровень – формализует содержательные и смысловые аспекты информационного обмена. Взаимодействие на данном уровне позволяет системам однозначно понимать и достоверно интерпретировать полученную информацию, а также верифицировать, комбинировать и обрабатывать ее совместно с другой информацией, уже имеющейся в каждой конкретной системе. Данный уровень включает в себя не только технические параметры интероперабельности, но и учитывает «человеческий фактор» – различие в интерпретации одной и той же информации различными людьми, с учетом их психологических и культурных особенностей, а также с учетом отличия представления одинаковой информации через различные человеко-машинные интерфейсы;
- 3) технический уровень – формализует синтаксис и форматы представления информационного обмена, а также протоколы (правила), интерфейсы, стандарты (нормативно-технические документы), технические средства и способы, аппаратное и программное обеспечение, используемые при информационном обмене. К этому уровню также относятся требования по качеству обслуживания сообщений информационного обмена в ЕИП и требования по обеспечению информационной безопасности информационного обмена.

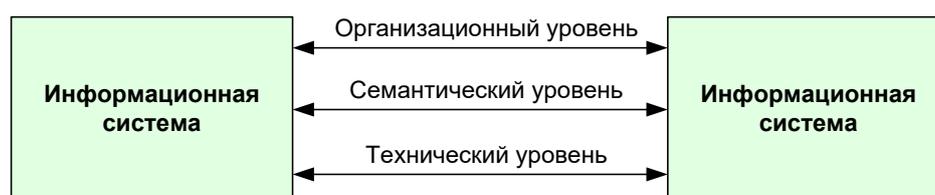


Рис. 5. Отечественная модель интероперабельности [30]

В соответствии с вышеуказанными уровнями, различают следующие частные представления единого понятия «интероперабельность»:

*организационная интероперабельность* – способность участвующих в информационном обмене систем достигать общих целей на уровне бизнес-процессов;

*семантическая интероперабельность* – способность любых взаимодействующих в процессе коммуникации информационных систем одинаковым образом понимать смысл информации, которой они обмениваются.

*техническая интероперабельность* – способность к обмену данными между участвующими в обмене системами.

Кроме эталонной модели, ГОСТ Р 55062-2012 включает в себя девяти-этапную методику достижения интероперабельности, представленную на рис. 6. Основой практического достижения интероперабельности является разработка и внедрение профиля интероперабельности.

*Профиль интероперабельности* – взаимоувязанный набор стандартов, организованных в соответствии с уровнями модели интероперабельности, ориентированный на описание информационного взаимодействия конкретных систем определенного класса. Процесс построения профиля состоит в последовательной идентификации требований к информационной системе, требований к ее процессам и службам, необходимым для выполнения этих требований, требований к соответствующим информационным технологиям и к стандартам этих технологий.

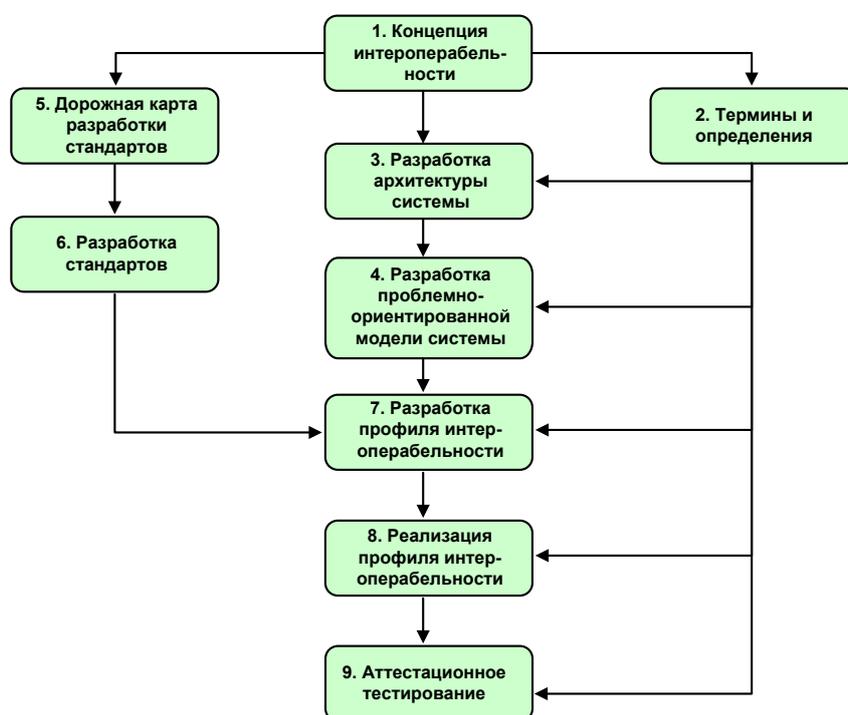


Рис. 6. Методика достижения интероперабельности [30]

## 6. Направления развития отечественной эталонной модели интероперабельности за счет заимствования подходов и параметров SCOPE-модели

Модель интероперабельности, представленная в ГОСТ Р 55062-2012, является эталонной: на её основе, в рамках решения задач обеспечения интероперабельности конкретных информационных систем, должны строиться проблемно-ориентированные модели интероперабельности с большим количеством подуровней, а также с более развернутой и детализованной формализацией частных параметров организационного, семантического и технического уровней. Для формирования подуровней и большего числа параметров в проблемно-ориентированных моделях может использоваться международный опыт формализации интероперабельности, представленный в вышеописанных LISI- и SCOPE- моделях.

С учетом активного развития сетевых систем, на наш взгляд, одним из основных направлений совершенствования отечественной модели интероперабельности является заимствование подходов к формализации и отдельных параметров SCOPE-модели с последующей их адаптацией и интеграцией в отечественную модель интероперабельности. Предварительный вариант такой адаптации и интеграции для 1-го и 2-го уровней детализации параметров SCOPE-модели, представлен на рис. 7.

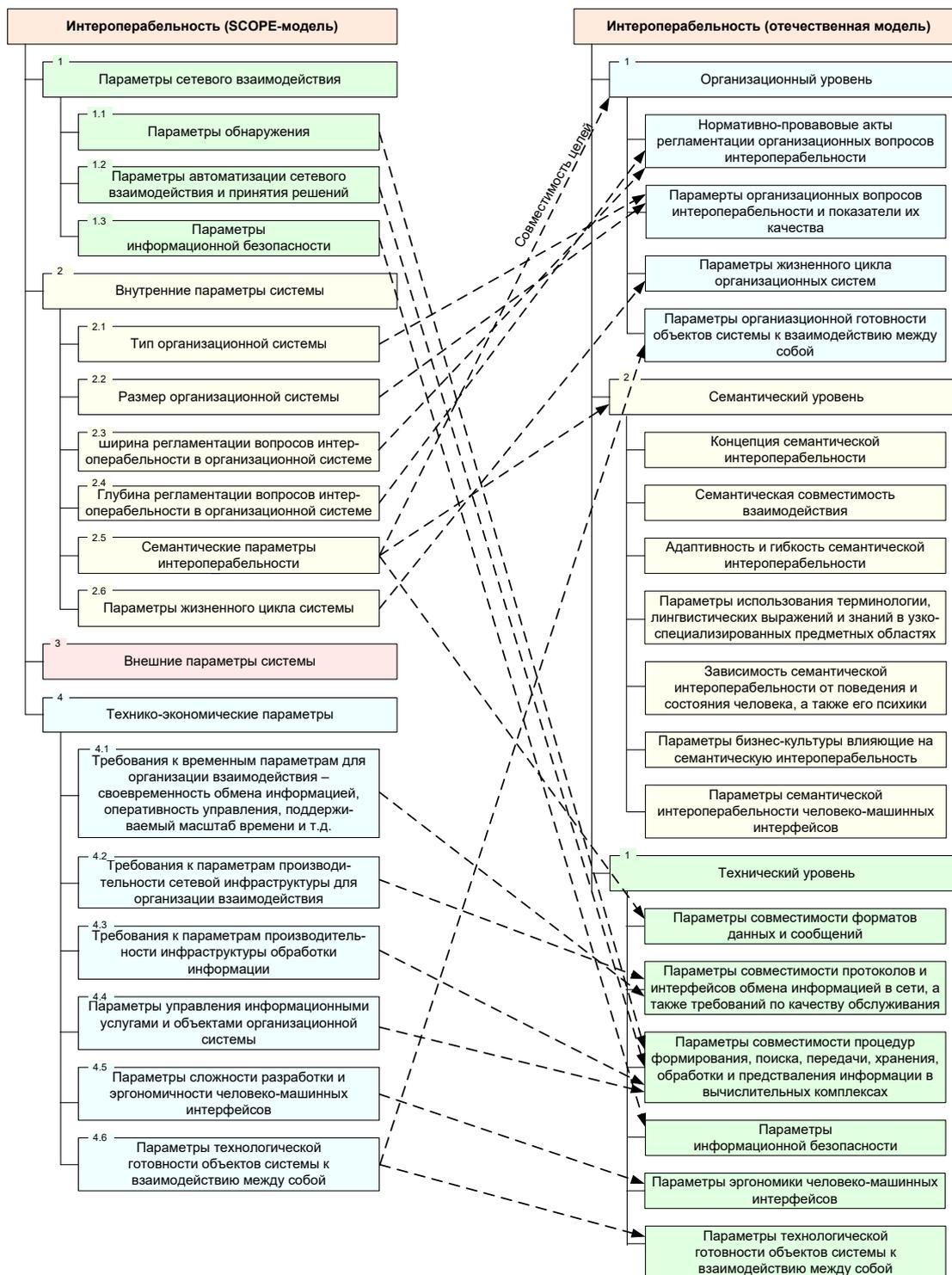


Рис. 7. Вариант адаптации и интеграции параметров SCOPE-модели в отечественную модель интероперабельности

Такая адаптация и интеграция SCOPE-модели в трехуровневую отечественную модель, позволит использовать наработанные и многократно апробированные научно-методические подходы в области формализации параметров интероперабельности. Дальнейшим направлением развития полученной интегрированной модели будет являться оформление ее в виде национального стандарта ГОСТ Р и использование в отечественной практике построения информационных систем в рамках ЕИП.

### Заключение

В статье представлены имеющиеся в настоящее время подходы к формализации свойства интероперабельности информационного взаимодействия открытых систем. Проведен анализ различных технологий обеспечения интероперабельности, моделей интероперабельности: LISI-модели, SCOPE-модели, концепции DODAF, а также отечественной модели в соответствии с ГОСТ Р 55062-2012. Показано, что одним из дальнейших направлений развития отечественной модели интероперабельности является адаптация и интеграция в нее частных параметров SCOPE-модели. Представлен один из вариантов такой интеграции.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

- обеспечение интероперабельности – сложная научно-техническая и организационно-методическая проблема, актуальность решения которой возрастает в связи с интеграцией информационных систем различного назначения, а также с развитием и применением сетевых систем;
- одним из ключевых моментов развития отечественного методологического базиса обеспечения интероперабельности служит построение проблемно-ориентированных моделей интероперабельности;
- перспективным направлением развития отечественной эталонной модели, а также формирования проблемно-ориентированных моделей интероперабельности является интеграция моделей, содержащихся в ГОСТ Р 55062-2012 [30] и в документе по SCOPE [31].

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 19-07-00774-А «Исследование проблемы интероперабельности при реализации принципов сетевых информационных-управляющих систем»).*

## Приложение 1. Декомпозиция общих и частных параметров SCOPE-модели [31]

Интероперабельность:

- 1) параметры сетевого взаимодействия (net-readiness):
  - 1.1) параметры обнаружения (discovery):
    - 1.1.1) параметры обнаружения объектов<sup>1</sup> (service discovery):
      - 1.1.1.1) полнота описания объекта (service description richness);
      - 1.1.1.2) описание механизма оповещения об объекте, его доступности и порядке доступа к нему (service description publication/access mechanism);
      - 1.1.1.3) длительность обнаружения объекта (service discovery time);
    - 1.1.2) параметры обнаружения информационных ресурсов (information discovery):
      - 1.1.2.1) надежность и доступность ресурса (metadata availability and accessibility);
      - 1.1.2.2) используемый ресурсом язык мета-данных (standard metadata language);
      - 1.1.2.3) актуальность мета-данных о ресурсе (COI metadata relevance);
      - 1.1.2.4) возможность обратиться с формализованным запросом к ресурсу (query metadata matching capability);
      - 1.1.2.5) используемые ресурсом источники информации и показатели их достоверности (multiple information sources relevance metrics);
      - 1.1.2.6) возможность обратиться к ресурсу с контекстно-информационными запросами (context informed queries);
      - 1.1.2.7) необходимость формирования предварительной договоренности перед началом взаимодействия с ресурсом (information model pre-agreement);
      - 1.1.2.8) семантическая ясность и ценность информации, предоставляемой ресурсом (level of semantic expressiveness);
  - 1.2) параметры автоматизации сетевого взаимодействия и принятия решений (autonomic networking):
    - 1.2.1) параметры автоматизации, определяющие степень участия человека-оператора (autonomic human operator dependency):
      - 1.2.1.1) уровень автоматизации поведения и принятия решений (autonomic behavior);
      - 1.2.1.2) уровень автоматизации сетевого взаимодействия (autonomic level of interaction);
      - 1.2.1.3) уровень автоматизации проверки правильности действий и принятых решений (autonomic validity checking);
      - 1.2.1.4) уровень автоматизации управления (autonomic guidance);
      - 1.2.1.5) зависимость от поведения и состояния человека, а также его психики (autonomic human dependency subdimension values);
    - 1.2.2) параметры автоматизации сетевого взаимодействия (autonomic network operations):
      - 1.2.2.1) уровень автоматизации конфигурирования сети (autonomic configuration);

---

<sup>1</sup> Под объектом может пониматься элемент, ресурс или процесс системы, предоставляемая услуга или системный сервис, а также пользователь системы или лицо, принимающее решение.

- 1.2.2.2) уровень автоматизации восстановления работоспособности сети при отказах и дестабилизирующих воздействиях (autonomic healing);
- 1.2.2.3) уровень автоматизации процедур оптимизации производительности сети (autonomic optimization/performance management);
- 1.2.2.4) уровень автоматизации процессов защиты сети от дестабилизирующих воздействий (autonomic protection);
- 1.2.2.5) уровень автоматизации процессов самосинхронизации компонентов сети (autonomic composureability);
- 1.2.2.6) уровень автоматизации управления конфигурацией и ресурсами сети (autonomic asset management);
- 1.2.2.7) уровень автоматизации процессов обеспечения качества обслуживания в сети (autonomic QoS);
- 1.2.2.8) уровень автоматизации процессов самоорганизации и самоуправления сети (autonomic networking subdimension values);
- 1.2.2.9) зависимость процессов самоорганизации и самоуправления в сети от поведения и состояния человека, а также его психики (autonomic network dimension values descriptions);
- 1.3) *параметры информационной безопасности (information assurance capability)*;
- 2) *внутренние параметры системы (capability/domain-independent scope)*:
  - 2.1) тип организационной системы (enterprise type);
  - 2.2) размер организационной системы (overall scope):
    - 2.2.1) масштаб организационной системы (enterprise scale);
    - 2.2.2) уровень гетерогенности (разнородности) организационной системы (enterprise heterogeneity);
    - 2.2.3) уровень связности элементов организационной системы (enterprise cohesiveness);
  - 2.3) ширина регламентации вопросов интероперабельности в организационной системе (enterprise breadth):
    - 2.3.1) цель и ключевые процессы организационной системы (operating concepts);
    - 2.3.2) порядок функционирования организационной системы (functional concepts);
    - 2.3.3) совместное применение и порядок взаимодействия объектов организационной системы (integrating concepts);
    - 2.3.4) порядок формирования «горизонтальных» связей между объектами организационной системы на одном иерархическом уровне управления (swim lanes);
    - 2.3.5) руководящие документы, регламентирующие доктрину, структуру организации, подготовку и образование персонала, материально-техническое обеспечение и оборудование организационной системы (DOTMLPF);
    - 2.3.6) конкретные аспекты интероперабельности организационной системы, рассматриваемые в контексте их влияния на следующие сферы: политика, военное дело, экономика, социальная сфера, инфраструктура, информация (PMESII);
  - 2.4) глубина регламентации вопросов интероперабельности в организационной системе (enterprise breadth);
  - 2.5) семантические параметры интероперабельности (semantic interoperability):
    - 2.5.1) модель концепции семантической интероперабельности – SICF-модель (SICF – Semantic Interoperability Conceptual Framework):

- 2.5.1.1) общие знания о физических параметрах окружающей среды (common environment knowledge – physical);
- 2.5.1.2) общие знания о социально-психологических параметрах окружающей среды (common environment knowledge – social);
- 2.5.1.3) классификация взаимодействующих агентов (agent classification);
- 2.5.1.4) состояние агента и его контекст: цели, возможности, состояние окружающей среды, логика принятия решений, социальные и организационные роли и т.д. (agent context);
- 2.5.1.5) знания агента в различных предметных областях (agent domain knowledge);
- 2.5.1.6) намерения агента, выражаемые в вербальной речевой форме (agent intentions – speech acts);
- 2.5.2) семантическая совместимость взаимодействия (semantic interaction compatibility):
  - 2.5.2.1) модель семантического взаимодействия: цели, контекст, предметная область (semantic interaction model compatibility – context, domain knowledge, intention);
  - 2.5.2.2) лингвистическая совместимость (language compatibility);
  - 2.5.2.3) совместимость целей и намерений (intention compatibility);
  - 2.5.2.4) совместимость понятий и знаний в предметной области (domain knowledge compatibility);
  - 2.5.2.5) совместимость контекста взаимодействия, которые влияют на интерпретацию терминов, лингвистических выражений, знаний: состояние окружающей среды, логика принятия решений, социальные и организационные роли и т.д. (context compatibility);
  - 2.5.2.6) согласованность/конфликтность целей и отношений между взаимодействующими агентами (collaboration compatibility);
- 2.5.3) зависимость семантической интероперабельности от поведения и состояния человека, а также его психики (human semantic dependencies):
  - 2.5.3.1) фактор индивидуальных психических особенностей (individual role dependency);
  - 2.5.3.2) фактор социальной роли, культурных особенностей социума, уровня образования (social/cultural background knowledge dependency);
  - 2.5.3.3) фактор ориентированности человека на следование целям, инструкциям и поведенческим потернам той организационной системы, частью которой он является (organizational mission/focus dependency);
  - 2.5.3.4) фактор языковой совместимости взаимодействующих людей (language dependency);
  - 2.5.3.5) фактор совместимость понятий и знаний взаимодействующих людей (domain knowledge dependency);
  - 2.5.3.6) контекст ситуации, в которой взаимодействуют люди и которые влияют на интерпретацию терминов, лингвистических выражений, знаний: психические, культурные, исторические особенности, логика принятия решений, социальные и организационные роли и т.д. (situational context dependency);
- 2.5.4) адаптивность и гибкость семантической интероперабельности (operational context flexibility):
  - 2.5.4.1) временной контекст взаимодействия (time context);
  - 2.5.4.2) предметный контекст взаимодействия (object situational context);

- 2.5.4.2.1) геопро пространственный контекст взаимодействия (geospatial location context);
- 2.5.4.2.2) предметная область взаимодействия (domain classification context);
- 2.5.4.3) контекстные параметры взаимодействия агентов (multi-agent context (shared situational context knowledge)):
  - 2.5.4.3.1) отношения сотрудничества/конфликтности между взаимодействующими агентами (collaborative relationship);
  - 2.5.4.3.2) взаимодополнение ролей взаимодействующих агентов (complementary roles);
  - 2.5.4.3.3) предоставление информации о возможностях отдельных агентов (agent capability representation);
  - 2.5.4.3.4) соглашение о порядке взаимодействия между агентами (agreement/commitment protocol);
  - 2.5.4.3.5) знание о ситуации, в которой происходит взаимодействие агентов, а также знание о состоянии среды (environment domain knowledge);
- 2.5.5) *параметры использования терминологии, лингвистических выражений и знаний в узкоспециализированных предметных областях (globalization versus specialization of domain knowledge for communities of interest);*
- 2.5.6) *параметры бизнес-культуры влияющие на семантическую интероперабельность (organizational business model and culture);*
- 2.6) *параметры жизненного цикла системы (life cycle control);*
- 3) *внешние параметры системы (capability/domain-dependent scope):*
  - 3.1) *1-я группа параметров внешней среды и межсистемного взаимодействия;*
  - ...
  - 3.п) *п-я группа параметров внешней среды и межсистемного взаимодействия;*
- 4) *технико-экономические параметры (technical/economic feasibility):*
  - 4.1) *требования к временным параметрам для организации взаимодействия – своевременность обмена информацией, оперативность управления, поддерживаемый масштаб времени и т.д. (inter-element time binding sensitivity);*
  - 4.2) *требования к параметрам производительности сетевой инфраструктуры для организации взаимодействия (transport capacity needed);*
  - 4.3) *требования к параметрам производительности инфраструктуры обработки информации (run-time computing resources needed):*
    - 4.3.1) *уровень использования оперативной и долговременной памяти (storage utilization);*
    - 4.3.2) *уровень интенсивности взаимодействия и обмена информацией (application interaction frequency/pattern);*
    - 4.3.3) *уровень использования вычислительных устройств (processor utilization);*
    - 4.3.4) *уровень качества обслуживания в узлах сетевых систем (nodal quality of service);*
  - 4.4) *параметры управления информационными услугами и объектами организационной системы (enterprise service management feasibility):*
    - 4.4.1) *динамические параметры предоставления информационных услуг (dynamic service composition feasibility);*
    - 4.4.2) *динамические параметры предоставления информационных ресурсов и возможности реконфигурации сетевых параметров (dynamic resource configuration and network management feasibility);*

- 4.4.3) параметры безопасности при предоставлении информационных услуг и организации доступа к информационным ресурсам (information assurance feasibility);
- 4.4.4) *уровень качества обслуживания пользователей при предоставлении информационных услуг и организации доступа к информационным ресурсам (quality-of-service feasibility);*
- 4.5) параметры сложности разработки и эргономичности человеко-машинных интерфейсов (interface development complexity);
- 4.6) параметры технологической готовности объектов системы к взаимодействию между собой (technology readiness level for system connections).

Примечания:

1) курсивом выделены те параметры интероперабельности, которые указаны в SCOPE-модели, однако не детализованы и не описаны в достаточной степени. В описании этой модели указано, что детализация этих параметров производится либо разработчиками системы (например, в отношении внешних параметров системы), либо будет произведена в более поздних вариантах SCOPE-модели.

2) полное описание сути частных параметров интероперабельности, их количественных и качественных показателей и размерности представлено в работе [31].

### Литература

1. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering – Vocabulary. – ISO, 2017. – 522 с.

2. New European Interoperability Framework. Promoting seamless services and data flows for European public administrations. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. – 48 с. – URL: [https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/eif\\_brochure\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/eif_brochure_final.pdf) (дата доступа: 21.10.2019).

3. Программа фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. Распоряжение Правительства РФ от 3 декабря 2012 г. №2237-р – М.: РАН, 2012. – URL: <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=62d335ba-2aea-4803-85ee-fd0cd37aba4b> (дата обращения 19.10.2019).

4. Steel J., Drogemuller R., Toth B. Model interoperability in building information modelling // Software & Systems Modeling. 2012. Т. 11. № 1. С. 99-109.

5. Xu L. D., Li L., Xu E. L. Industry 4.0: State of the art and future trends // International Journal of Production Research. 2018. Т. 56. № 8. С. 2941-2962.

6. Aloï G., Caliciuri G., Fortino G., Gravina R., Pace P., Russo W., Savaglio C. Enabling IoT interoperability through opportunistic smartphone-based mobile gateways // Journal of Network and Computer Applications. 2017. Т. 81. С. 74-84.

7. Rogers D., Harvey I., Evans K., Taylor I., Jones A., Huu T. T., Montagnat J., Glatard T., Kallel I., Harrison A. Bundle and pool architecture for multi-language, robust, scalable workflow executions // Journal of Grid Computing. 2013. Т. 11. № 3. С. 457-480.

8. Jin Z., Chen Y. Telemedicine in the cloud era: prospects and challenges // IEEE Pervasive Computing. 2015. Т. 14. № 1. С. 54-61.

9. Lupşu O S., Vida M. M., Tivadar L. Cloud computing and interoperability in healthcare information systems // The First International Conference on Intelligent Systems and Applications. 2012. С. 81-85.

10. Scholl H. J., Kubicek H., Cimander R., Klischewski R. Process integration, information sharing, and system interoperation in government: A comparative case analysis // Government Information Quarterly. 2012. Т. 29. № 3. С. 313-323.

11. Dai W., Guan X., Dubinin V. N., Christensen J. H., Vyatkin V. Toward self-manageable and adaptive industrial cyber-physical systems with knowledge-driven autonomic service management // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2017. Т. 13. № 2. С. 725-736.

12. 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.

13. Трубникова Е. И. Стратегии интероперабельности продукции в условиях интеграции производителей // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2010. № 12 (74). С. 84-89.

14. Гришенцев А. Ю., Коробейников А. Г., Дукельский К. В. Метод численной оценки технической интероперабельности // Кибернетика и программирование. 2017. № 3. С. 23-38. DOI: 10.25136/2306-4196.2017.3.23540.

15. Куприянов А. А. Аспекты интероперабельности автоматизированных систем // Автоматизация процессов управления. 2009. № 4. С. 40-49.

16. Кашевник А. М. Подход к обеспечению семантической интероперабельности мобильных роботов при формировании коалиций // Информационные технологии и вычислительные системы. 2017. № 1. С. 90-100.

17. Аристов А. В. Обеспечение интероперабельности систем формирования стандартизированных профилей // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2015. Т. 11. № 4. С. 40-43.

18. Аникин Д. В. Критерии оценки применения интероперабельности, заданные условиями принятия решения // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 249-257.

19. Илюшин Г. Я., Соколов И. А. Организация управляемого доступа пользователей к разнородным ведомственным информационным ресурсам // Информатика и её применение. 2010. Том 4. № 1. С. 24-40. – URL: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ia&paperid=15&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ia&paperid=15&option_lang=rus) (дата доступа: 21.10.2019).

20. Головин С. А., Андрианова Е. Г., Гудкова О. К., Лаптев А. Н. Методика формирования профилей стандартов информационных технологий в интересах обеспечения интероперабельности сложных распределенных систем // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 12. С. 25. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec14/16/text.html> (дата доступа: 21.10.2019).

21. Акаткин Ю. М., Ясиновская Е. Д. Цифровая трансформация государственного управления: Датацентричность и семантическая интероперабельность / Под ред. В.А. Конявского. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 724 с. – URL: <https://urss.ru/elib/249005/#> (дата доступа: 21.10.2019).

22. Гуляев Ю. В., Журавлев Е. Е., Олейников А. Я. Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса. Аналитический обзор // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 3. С. 12. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/mar12/2/text.pdf> (дата обращения 19.10.2019).

23. Гуляев Ю. В., Олейников А. Я. Состояние и перспективы развития технологии открытых систем // Информационные технологии и вычислительные системы. 2006. № 3. С. 7-18.

24. Олейников А. Я., Разинкин Е. И. Профиль интероперабельности в области электронной коммерции // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. № 4. С. 74-79.

25. Журавлев Е. Е., Иванов С. В., Каменщиков А. А., Корниенко В. Н., Олейников А. Я., Широбокова Т. Д. Особенности методики обеспечения интероперабельности в ГРИД-среде и облачных вычислениях // Компьютерные исследования и моделирование. 2015. Т. 7. № 3. С. 675-682.

26. Быстров Р. П., Корниенко В. Н., Олейников А. Я. Интероперабельность, информационное противоборство и радиоэлектронная борьба // Успехи современной радиоэлектроники. 2018. № 5. С. 15-34.

27. 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.

28. Олейников А. Я., Каменщиков А. А. Роль интероперабельности в цифровой экономике и обороноспособности страны // ИТ-Стандарт. 2017. № 4 (13). С. 31-35.

29. Технология открытых систем. Монография / Под ред. А.Я. Олейникова – М.: Янус-К, 2004. – 288 с.

30. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

31. Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0. – NCOIC, 2008. – 154 с.

32. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетевая война - принципы, технологии, примеры и перспективы. Монография. – СПб.: Научные технологии, 2018. – 898 с.

33. CJCSI 3170.01E. Joint Capabilities Integration Development System. – DoD US, 2005. – URL: <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=18467> (дата доступа 21.10.2019).

34. Молитвин Л. О реализации концепции единого информационного пространства НАТО // Зарубежное военное обозрение. 2008. № 1. С. 23-27.

35. NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 1: Introduction. – C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. – 48 с.

36. NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 2: Agreed Interoperability Standards and Profiles. – C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. – 90 с.

37. NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 3: Candidate Interoperability Standards and Profiles. – C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. – 18 с.

38. DOD Architecture Framework. Version 1.5. – Washington, D.C.: Department of Defense, 2006. – URL: [http://www.defenselink.mil/cio-nii/docs/DoDAF\\_Volume\\_I.pdf](http://www.defenselink.mil/cio-nii/docs/DoDAF_Volume_I.pdf) (дата доступа 21.10.2018).

39. Ministry of Defense Architecture Framework. – Washington, D.C.: Department of Defense. – URL: <http://www.modaf.com> (дата доступа 21.10.2018).

40. The Open Group Architecture Framework. – URL: <http://www.opengroup.org/architecture/togaf8-doc/arch/> (дата доступа 21.10.2018).

41. Levels of Information Systems Interoperability (LISI). – Washington, D.C.: Department of Defense, C4ISR Interoperability Working Group, 1998.

42. NATO Industrial Advisory Group. – URL: [https://diweb.hq.nato.int/niag/Pages\\_Anonymous/Default.aspx](https://diweb.hq.nato.int/niag/Pages_Anonymous/Default.aspx) (дата доступа 21.10.2018).

### References

1. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering – Vocabulary. ISO, 2017. 522 p.

2. *New European Interoperability Framework. Promoting seamless services and data flows for European public administrations.* Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2017. 48 p. Available at: [https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/eif\\_brochure\\_final.pdf](https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/eif_brochure_final.pdf) (accessed 21 October 2019).

3. Program of fundamental research of the state academies of Sciences for 2013-2020. Order of the Government of the Russian Federation of December 3, 2012 No. 2237-R. Moscow, RAS, 2012. Available at: <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=62d335ba-2aea-4803-85ee-fd0cd37aba4b> (accessed 19 October 2019) (in Russian).

4. Steel J., Drogemuller R., Toth B. Model interoperability in building information modelling. *Software & Systems Modeling*, 2012, vol. 11, no. 1, pp. 99-109.

5. Xu L. D., Li L., Xu E. L. Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 2018, vol. 56, no. 8, pp. 2941-2962.

6. Aloï G., Caliciuri G., Fortino G., Gravina R., Pace P., Russo W., Savaglio C. Enabling IoT interoperability through opportunistic smartphone-based mobile gateways. *Journal of Network and Computer Applications*, 2017, vol. 81, pp. 74-84.

7. Rogers D., Harvey I., Evans K., Taylor I., Jones A., Huu T. T., Montagnat J., Glatard T., Kallel I., Harrison A. Bundle and pool architecture for multi-language, robust, scalable workflow executions. *Journal of Grid Computing*, 2013, vol. 11, no. 3, pp. 457-480.

8. Jin Z., Chen Y. Telemedicine in the cloud era: prospects and challenges. *IEEE Pervasive Computing*, 2015, vol. 14, no. 1, pp. 54-61.

9. Lupşu O S., Vida M. M., Tivadar L. Cloud computing and interoperability in healthcare information systems. *The First International Conference on Intelligent Systems and Applications*, 2012, pp. 81-85.

10. Scholl H. J., Kubicek H., Cimander R., Klischewski R. Process integration, information sharing, and system interoperation in government: A comparative case analysis. *Government Information Quarterly*, 2012, vol. 29, no. 3, pp. 313-323.

11. Dai W., Guan X., Dubinin V. N., Christensen J. H., Vyatkin V. Toward self-manageable and adaptive industrial cyber-physical systems with knowledge-driven autonomic service management. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2017, vol. 13, no. 2, pp. 725-736.

12. Frangulova E. V. Classification of approaches to integration and interoperability of information systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2010, no. 2, pp. 176-180 (in Russian).

13. Trubnikova E. I. Strategy for interoperability of products in terms of integration of producers. *Vestnik of Samara State University of Economics*, 2010, no. 12 (74), pp. 84-89 (in Russian).

14. Grishencev A. Yu., Korobejnikov A. G., Dukelskiy K. V. Metod chislennoj oцenki tekhnicheskoy interoperabel'nosti [Method of numerical estimation of technical interoperability]. *Kibernetika i programirovanie [Cybernetics and programming]*, 2017, no. 3, pp. 23-38 (in Russian). DOI: 10.25136/2306-4196.2017.3.23540.

15. Kupriyanov A. A. Aspekty interoperabel'nosti avtomatizirovannyh system [Aspects of interoperability of automated systems]. *Automation of Control Processes*, 2009, no. 4, pp. 40-49 (in Russian).

16. Kashevnik A. M. An approach to semantic interoperability support between mobile robots for coalition formation. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy*, 2017, no. 1, pp. 90-100 (in Russian).

17. Aristov A. V. System of forming standardized profiles interoperability. *Bulletin of Voronezh state technical University*, 2015, vol. 11, no. 4, pp. 40-43 (in Russian).

18. Anikin D. V. Evaluation criteria of interoperability set by the decision-making conditions. *Vestnik MGSU*, 2013, no. 10, pp. 249-257 (in Russian).

19. Ilyushin G. Y., Sokolov I. A. Organization of users' manageable access to heterogeneous departmental informational resources. *Informatics and Applications*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 24-40. Available at: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ia&paperid=15&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ia&paperid=15&option_lang=rus) (accessed 21 October 2019) (in Russian).

20. Golovin S. A., Andrianova E. G., Gudkova O. K., Laptev A. N. The methodology of the development of profiles of IT standards to provide the interoperability of complex distributed systems. *Journal of radio electronics*, 2014, no. 12, pp. 25. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/dec14/16/text.html> (accessed 21 October 2019) (in Russian).

21. Akatkin Yu. M., Yasinovskaya E. D. *Cifrovaya transformaciya gosudarstvennogo upravleniya: Datacentrichnost' i semanticheskaya interoperabel'nost'* [Digital transformation of public administration: Datacentricity

and semantic interoperability]. Edit. by V.A. Konyavskogo. Moscow, LENAND Publ., 2019. 724 p. Available at: <https://urss.ru/elib/249005/#> (accessed 21 October 2019) (in Russian).

22. Gulyaev Yu. V., Zhuravliov E. E., Oleinkov A. Ya. The methodology of standardization for address the interoperability of information systems of broad classes. *Journal of Radio Electronics*, 2012, no. 3. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/mar12/2/text.pdf> (accessed 21 October 2019) (in Russian).

23. Gulyaev Yu. V., Oleinkov A. Ya. Sostoyanie i perspektivy razvitiya tekhnologii otkrytyh sistem [State and prospects of open systems technology development]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy*, 2006, no. 3, pp. 7-18 (in Russian).

24. Oleinkov A. Ya., Razinkin E. I. Profil interoperabelnosti v oblasti elektronnoj kommercii [E-Commerce interoperability profile]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy*, 2013, no. 4, pp. 74-79 (in Russian).

25. Zhuravlev E. E., Ivanov S. V., Kamenshchikov A. A., Kornienko V. N., Oleynikov A. Ya., Shirobokova T. D. Aspects of methodology of ensuring interoperability in the Grid-environment and cloud computing. *Computer Research and Modeling*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 675-682 (in Russian).

26. Bystrov R. P., Korniyenko V. N., Oleynikov A. Ya. Interoperability, information antagonism and radio-electronic fight. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2018, no. 5, pp. 15-34 (in Russian).

27. Olejnikov A. Ya., Egorov G. A., Zhuravlev E. E., Korolev A. S., Kochukov A. N., Shirobokova T. D. Primenenie tekhnologii otkrytyh sistem dlya sozdaniya integrirovannyh informacionnyh sistem promyshlennyh predpriyatij [Application of open systems technology for creation of integrated information systems of industrial enterprises]. *Radio industry*, 2006, no. 2, pp. 90-107 (in Russian).

28. Oleinikov A. Ya., Kamenshchikov A. A. The role of interoperability in the digital economy and defense capability of the country. *IT-Standart*, 2017, vol. 13, no. 4, pp. 31-35 (in Russian).

29. *Tekhnologiya otkrytyh sistem. Monografiya [Open systems technology. Monograph]*. By edit. A.Ya. Olejnikov. Moscow, Yanus-K Publ., 2004. 288 p. (in Russian).

30. GOST R 55062-2012. Informacionnye tekhnologii (IT). Sistemy promyshlennoj avtomatizacii i ih integraciya. Interoperabel'nost'. Osnovnye polozheniya [Information technology (IT). Industrial automation systems and their integration. Interoperability. Fundamentals]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p. (in Russian).

31. *Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0*. NCOIC, 2008. 154 p.

32. Makarenko S. I., Ivanov M. S. *Setecentricheskaya vojna – principy, tekhnologii, primery i perspektivy. Monografiya [Network-centric warfare - principles, technologies, examples and perspectives. Monograph]*. Saint Petersburg, Naukoemkie Tekhnologii Publ., 2018. 898 p. (in Russian).

33. CJCSI 3170.01E. Joint Capabilities Integration Development System. DoD US, 2005. Available at: <https://acc.dau.mil/CommunityBrowser.aspx?id=18467> (accessed 21 October 2019).

34. Molitvin L. O realizacii koncepcii edinogo informacionnogo prostranstva NATO [On the implementation of the NATO common information space concept]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2008, no. 1, pp. 23-27 (in Russian).

35. *NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 1: Introduction*. C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. 48 p.

36. *NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 2: Agreed Interoperability Standards and Profiles*. C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. 90 p.

37. *NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 3: Candidate Interoperability Standards and Profiles*. C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. 18 p.

38. DOD Architecture Framework. Version 1.5. – Washington, D.C.: Department of Defense, 2006. Available at: [http://www.defenselink.mil/cionii/docs/DoDAF\\_Volume\\_I.pdf](http://www.defenselink.mil/cionii/docs/DoDAF_Volume_I.pdf) (accessed 21 October 2018).

39. Ministry of Defense Architecture Framework. – Washington, D.C.: Department of Defense. Available at: <http://www.modaf.com> (accessed 21 October 2018).

40. The Open Group Architecture Framework. Available at: <http://www.opengroup.org/architecture/togaf8-doc/arch/> (accessed 21 October 2018).

41. Levels of Information Systems Interoperability (LISI). Washington, D.C., Department of Defense, C4ISR Interoperability Working Group, 1998.

42. NATO Industrial Advisory Group. Available at: [https://diweb.hq.nato.int/niag/Pages\\_Anonymous/Default.aspx](https://diweb.hq.nato.int/niag/Pages_Anonymous/Default.aspx) (accessed 21 October 2018).

Статья поступила 13 ноября 2019 г.

### Информация об авторах

*Макаренко Сергей Иванович* – доктор технических наук, доцент. Профессор кафедры информационной безопасности. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина). Заместитель генерального директора по научной работе – главный конструктор. ООО «Корпорация «Интел Групп». Область научных интересов: сети и системы связи; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

*Олейников Александр Яковлевич* – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник. Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН. Председатель подкомитета «Интероперабельность» ПК206/ТК 22 Росстандарта. Область научных интересов: методы стандартизации сертификации в области информационно-коммуникационных технологий, интероперабельность. E-mail: olein39@gmail.com

Адрес: Россия, 125009, Москва, ул. Моховая д. 11 корп. 7.

*Черницкая Татьяна Евгеньевна* – студент кафедры информационной безопасности. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина). Область научных интересов: информационная безопасность, интероперабельность информационных систем. E-mail: drukarsu@mail.ru

Адрес: Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

---

## Models of interoperability assessment for information systems

S. I. Makarenko, A. Y. Oleynikov, T. E. Chernitskaya

**Relevance.** *Integration of information systems within integral information space actualizes the question of solving interoperability assessment problem. Nowadays not enough attention is being paid to this problem in Russia, regardless an existence of national standard GOST R 55062 – 2012, which represents a reference for interoperability assessment model. However, further development of this model can be undertaken only relying upon global experience in formalizing interoperability property, its' dimensions and aspects. The aim of this work is to present and analyze the existing model of interoperability assessment. Results and novelty.* In this article, the existing approaches to formalizing interoperability property are presented. Various technologies of ensuring interoperability, models of interoperability assessment – LISI, SCOPE – model and domestic model, presented in GOST R 55062 – 2012 were analyzed. It is shown, that one of the further development path of domestic interoperability model is adjusting and integrating particular SCOPE – model dimensions into it. One possible option of that integration, focused on net-centric systems is proposed. **Practical significance.** Analysis, presented in this work, will be helpful for technical experts, who aim to solve the problem of integrating various types of information systems and derive technological solutions, which are to implement integral information space.

**Key words:** model, model of interoperability assessment, interoperability, integral information space, information system, net-centric system, open system, LISI, SCOPE, DODAF, GOST R 55062 – 2012.

### Information about Authors

*Sergey Ivanovich Makarenko* – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Professor of Information Security Department. Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI'. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197376, Saint Petersburg, Professor Popov Street, 5.

*Aleksandr Yakovlevich Oleynikov* – Dr. habil. of Engineering Sciences, Full Professor. Chief Scientist. Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics (IRE) of Russian Academy of Sciences. Field of research: methods of information and communication standardization and certification, interoperability. E-mail: olein39@gmail.com

Address: Russia, 125009, Moscow, Mokhovaya 11-7.

*Tatiana Evgenevna Chernitskaya* – Student of Information Security Department. Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI'. Field of research: information security, interoperability of information systems. E-mail: drukarsu@mail.ru

Address: Russia, 197376, Saint Petersburg, Professor Popov Street, 5.