

# Исследование особенностей проблемы интероперабельности в крупномасштабных информационных системах\*

А.А. Каменщиков, А.Я. Олейников, Т.Д. Широбокова

Федеральное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А Котельникова РАН), г. Москва, Россия

**Аннотация.** Исследована «проблема интероперабельности» в области крупномасштабных информационных систем за рубежом и в РФ. Показано, что за рубежом при создании и объединении крупномасштабных информационных систем необходимым условием является использование принципов интероперабельности, т.е. использование стандартов информационно-коммуникационных технологий. Предложено применить разработанный авторами ранее и зафиксированный в ГОСТ Р 55062-2012 единый подход к обеспечению интероперабельности информационных систем различных классов к области крупномасштабных информационных систем с использованием зарубежного опыта.

**Ключевые слова:** крупномасштабные информационные системы, система систем, интероперабельность, стандарты, архитектура, модель интероперабельности.

DOI 10.14357/20718632180302

## Введение

Насыщение разнородными средствами вычислительной техники привело во всем мире к образованию гетерогенной среды. Это породило проблему совместимости и взаимодействия разнородных компонентов среды, получившую название «проблема интероперабельности». Напомним, что согласно общепринятому определению «Интероперабельность — способность двух или более систем, или элементов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена» (ISO/IEC/IEEE 24765:2010, ГОСТ Р 55062-2012) [1]. В основе достижения интероперабельности лежит использование профилей - согласованных наборов стан-

дартов информационно-коммуникационных технологий (ИКТ-стандартов). Использование ИКТ стандартов обеспечивает только самый нижний, т.н. «технический» уровень интероперабельности. Полная интероперабельность может быть достигнута на более высоких уровнях – семантическом и организационном. Поэтому проблема интероперабельности – сложная и комплексная, имеющая фундаментальные и прикладные аспекты, нерешенная до конца во всем мире, о чем говорят все время появляющиеся научные статьи и другие материалы. В большинстве стран, а также в Евросоюзе проблеме интероперабельности придается первостепенное значение, обеспечение интероперабельности составляет неременную

\* Работа выполнена по госзаданию №0030-2015-0190

часть технической политики в области информационных технологий, и имеются не только концептуальные документы типа «Концепции интероперабельности» («Interoperability Framework»), но и большое количество документов реализационного уровня. К сожалению, в РФ на государственном уровне проблеме придается гораздо меньшее и не соответствующее важности проблемы значение. По всей видимости, это связано с общим отставанием РФ в области развития и применения ИКТ. Особенную озабоченность вызывает недостаточное внимание к проблеме интероперабельности с точки зрения национальной безопасности. Что касается фундаментальных аспектов, они прописаны в Программе фундаментальных исследований на 2013-2020 гг. (п.34). Прикладные аспекты обозначены в государственной программе «Цифровая экономика Российской Федерации».

Совершенно очевидно, что чем выше уровень гетерогенности среды, тем актуальнее проблема интероперабельности, и тем сложнее получить ее решение. Именно такой средой следует считать среду крупномасштабных информационных систем (Ultra-Large-Scale Systems), получившую название система систем (англ. System of Systems – SoS). Поэтому в дальнейшем мы будем использовать это сокращенное обозначение. Подчеркиваем, что авторами лишь предпринимается попытка исследовать проблему интероперабельности применительно к SoS и использовать полученный нами опыт к обеспечению интероперабельности в SoS, но как следует из описанного ниже мирового опыта, необходимо активно развивать данное направление.

## 1. Основные понятия SoS

Проблема интероперабельности имеет решающее значение, особенно при объединении нескольких независимо управляемых систем. Концепция SoS появилась, как новый подход к решению сложных задач [2]. В [3] проводится детальный анализ различных характеристик SoS, а также рассматриваются и сравниваются основные определения SoS. Показано, что SoS и крупномасштабные информационные системы это по существу одно и то же. Поскольку почти все системы состоят из подсистем, которые сами по себе являются системами, термин

SoS является действительно слишком общим и вводящим в заблуждение. Термину было дано много различных определений, которые, как правило, основаны на нескольких характеристиках систем и подсистем. Следует отметить что есть определение, которое дано в международном стандарте ISO/IEC/ IEEE 24765 «Systems and software engineering — Vocabulary»: «Большая система, образованная путем интеграции независимо управляемых систем и предоставляющая уникальные возможности», однако оно представляется слишком общим. Поэтому в качестве определения возьмем определение из работы [3]: «SoS - это любая система, которая является относительно большой и сложной, динамически развивающейся и физически распределенной системой, состоящей из ранее автономных и независимо управляемых систем, в результате чего система проявляет значительное количество непредсказуемых действий и характеристик» [2].

Также важно отметить, что SoS - это сложные социально-технические системы, которые соединяют несколько компонентов: не только аппаратное и программное обеспечение, но и организации, процессы и ресурсы. Чтобы управлять этой системой с учётом многодисциплинарности, необходимо понимать основные характеристики SoS. В [3] предлагается выделить 3 базовых группы характеристик SoS (технические, качественные и организационные), которые содержат в себе набор более детальных характеристик. В [3] даются определения всех характеристик SoS. Полный перечень основных характеристик SoS представлен на Рис. 1. В рамках статьи нет возможности рассматривать более подробно определения и взаимосвязи данных характеристик, отметим только наиболее важные для нас моменты.

При рассмотрении любой SoS можно выделить системы и их подсистемы. Рекурсивная декомпозиция систем (или подсистем) на подсистемы более низкого уровня, которые сами являются системами, имеет предел, потому что на каком-то уровне составные части системы слишком просты, чтобы считаться системами [3]. Однако следует отличать различные характеристики для систем и их подсистем, чтобы лучше понимать возможность их взаимодействия.

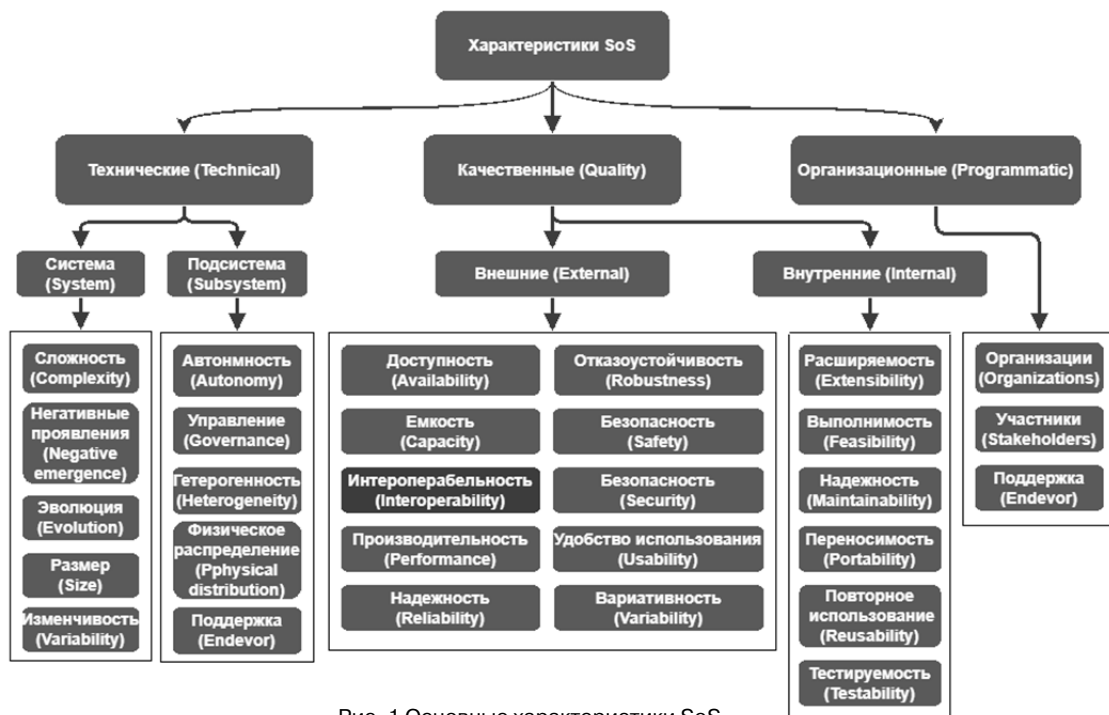


Рис. 1 Основные характеристики SoS

Также важно понимать: хотя системы, как правило, усложняются по мере их увеличения, эта тенденция не является единственной, и она не гарантирует, что более крупные системы всегда более сложные, чем более мелкие системы. Например, система может состоять из очень большого числа идентичных простых подсистем и быть гораздо менее сложной, чем система, состоящая из гораздо меньшего числа гетерогенных подсистем, взаимодействующих весьма сложным образом. Еще один вариант: что системы становятся сложнее по мере увеличения в размерах (по количеству подсистем), потому что подсистемы должны быть интегрированы или интероперабельны. В рамках данной статьи мы будем рассматривать более подробно, как именно обеспечить качественную характеристику SoS, которая входит в группу внешних характеристик SoS – интероперабельность.

Следует отметить, что во многих публикациях и документах часто встречаются слова «интегрированная система». Для дальнейшего изложения важно указать на разницу между этим понятием и понятием «интероперабельная система», на что мы уже обращали внимание ранее [4-6]. Напоминаем, что согласно определениям, зафиксированным в ГОСТ Р 55062-2012 [1]:

– «Интегрированная система - система, в которой все входящие в неё подсистемы работают по единому алгоритму, т.е. имеет единую точку управления».

– «Интероперабельная система - система, в которой входящие в неё подсистемы работают по независимым алгоритмам, не имеют единой точки управления, всё управление определяется единым набором стандартов – профилем интероперабельности».

## 2. Зарубежный опыт решения проблемы интероперабельности для SoS

Рассматривая зарубежный опыт, отметим, что понятие «система систем» восходит к сетевенческой концепции информационного объединения различных родов войск [7]. Одним из первых документов, посвящённых интероперабельности SoS, является документ «System of Systems Interoperability (SOSI): Final Report» 2004 года, подготовленный университетом Карнеги — Меллона [8]. В данном документе описывается понятие зрелости интероперабельности, предложена многоуровневая модель интероперабельности [9]. На Рис. 2 показаны наиболее важные

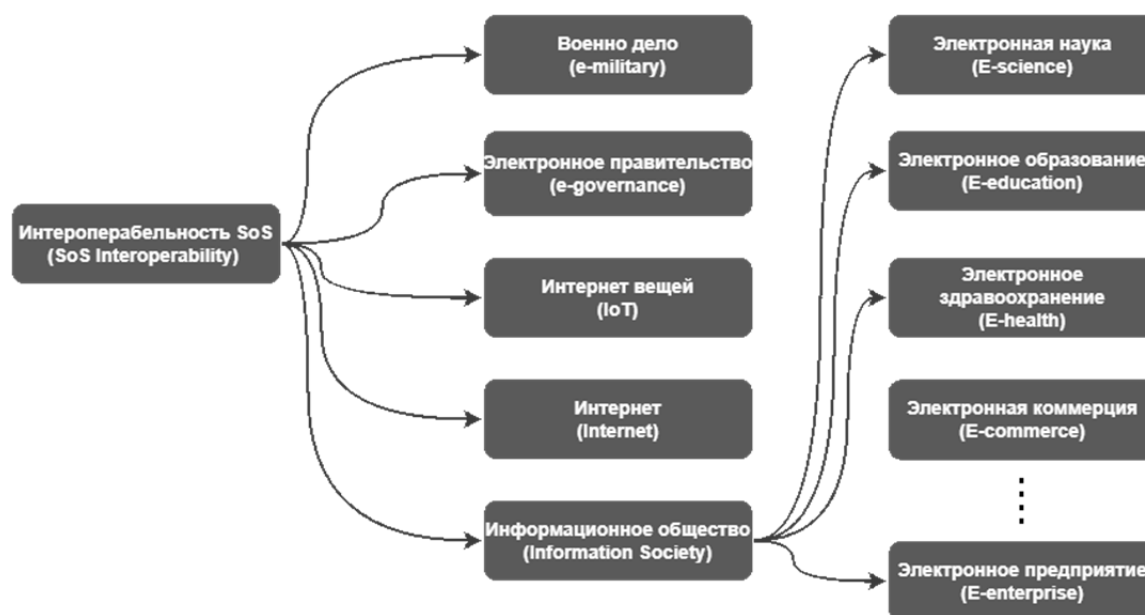


Рис. 2. Области, для которых наиболее актуальна проблема интероперабельности SoS

области, в которых происходит развитие интероперабельности SoS, а именно в военном деле [8–10], при создании электронного правительства [11], развитии концепции «интернета вещей» [12], эволюции сети Интернет [13], а также безусловно будет играть все большую роль при развитии различных компонентов информационного общества, которые показаны в правом столбце на Рис. 2 [14].

Для различных предметных областей, некоторые из которых представлены на Рис.2, существуют документы под названием «Interoperability Framework», которые обычно содержат в себе концепцию и архитектуру для решения проблемы интероперабельности для каждой конкретной области. Например, в Евросоюзе для электронного правительства существует документ «European Interoperability Framework» - [11], в области электронных предприятий «Framework for enterprise interoperability» (FEI) - [14], в области военного дела документ НАТО «NATO Interoperability Standards and Profiles» - [15], который состоит из трех томов, первый из которых, по сути, представляет Interoperability Framework.

Что касается SoS, то документа соизмеримого уровня с приведенными выше пока нет, и имеются лишь отдельные публикации в данной

области [2, 3, 12, 13, 16, 17]. Это связано с тем, что SoS без привязки к предметной области имеют более высокий уровень абстракции и наивысший масштаб по классификации информационных систем [18]. На наш взгляд наиболее детальный анализ проведен в [2] в главах 7 и 9. В 7-ой главе вводится понятие SoS Interoperability Framework - SoSIF. SoSIF представляет собой трехмерную модель, оси для которой заимствованы из [14] (Стандарт у которого также есть российская адаптация): барьеры для интероперабельности (interoperability barriers), подходы к интероперабельности (interoperability approaches), объект (область) интероперабельности (Interoperability concerns), но на уровнях объекта интероперабельности вносятся специфика SoS [2].

Есть также исследования, которые посвящены построению архитектур SoS в терминах компонентов, отношениям между этими компонентами и их эволюции, в результате чего возникает конечная структура. Освоение и понимание природы отношений между компонентами SoS позволяет решить проблему интероперабельности намного легче. Эта проблема широко изучается во многих областях, и несколько решений уже предложены [19–21]. Хотя эти решения не охватывают всех аспектов

инженерии SoS, они представляют собой прочную основу для разработки и реализации новых решений, охватывающих все уровни интероперабельности в соответствии с многими из существующих моделей интероперабельности. Однако, предложение таких новых решений требует огромных усилий для освоения знаний (обычно неформальных) о SoS и интероперабельности. Наличие обмена знаниями в сообществе разработчиков SoS, обеспечивает механизм реализации этих знаний, что значительно облегчает быстрое и эффективное развитие SoS. Это является главной задачей дисциплины управления знаниями (Knowledge Management - УЗ). УЗ - это область исследований, предлагающая методы, приемы и инструменты, способствующие созданию, приобретению, обмену и использованию знаний в организации. В силу ограниченности объема статьи и сложности тематики SoS не представляется возможным в полной мере рассмотреть УЗ, и также значимые для развития интероперабельности SoS понятия: Ontology Engineering, Ontology of SoS Interoperability (OoSoSI), Knowledge Based Systems (KBS) [2].

### **3. Российский опыт решения проблемы интероперабельности для SoS**

Рассматривая отечественный опыт в области решения проблемы интероперабельности для SoS, в первую очередь хотелось бы отметить, что материалов значительно меньше, чем западных. Есть признанные эксперты в развитии непосредственно SoS: Левенчук А.И., Батоврин В.К. и другие. Однако научных работ, имеющих прямое отношение к развитию интероперабельности SoS практически нет, имеются лишь отдельные, скорее популярные [7, 22]. Тем более, нет документов, подобных «SoS Interoperability Framework». Все это, по видимому, объясняется общим значительным отставанием нашей страны от развитых стран в области развития и применения ИКТ. По данным международного союза электросвязи по рейтингу развития ИКТ 2017 г. РФ занимает 47 место [23]. У авторов имеется опыт по обеспечению интероперабельности. Главным результатом следует считать единый подход к обеспечению интеропе-

рабельности для ИС самого широкого класса, зафиксированный в ГОСТ Р 55062-2012. На основе единого подхода накоплен опыт по достижению интероперабельности в различных областях, таких как: электронное здравоохранение, электронная наука, военное дело, электронные библиотеки, который непосредственно может быть использован при разработке концепции, архитектуры, модели, и профиля интероперабельности для SoS [1, 5, 24, 25].

## **4. Применение единого подхода к обеспечению интероперабельности для SoS**

### **4.1. Концепция обеспечения интероперабельности SoS**

Можно сформулировать следующие 9 положений концепции, которые позволят достичь интероперабельности SoS:

1. SoS - это любая система, которая является относительно большой и сложной, динамически развивающейся и физически распределенной системой, состоящей из ранее автономных и независимо управляемых систем, в результате чего система проявляет значительное количество непредсказуемых действий и характеристик.

2. SoS представляет сугубо гетерогенную среду, в которой проблема взаимодействия составляющих ее подсистем (проблема интероперабельности) крайне актуальна и одновременно крайне сложна.

3. Обеспечение интероперабельности в SoS составляет лишь одну из первостепенных задач инженерии SoS.

4. Под интероперабельностью понимается: способность двух или более систем к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена (ГОСТ 55062-2012).

5. При объединении различных SoS необходимо перейти от принципа интегрируемости к принципу интероперабельности.

6. SoS охватывает большинство областей применения, и проблема интероперабельности имеет как общие для всех областей, так и свои особенности для конкретной области.

7. При решении проблемы интероперабельности для SoS, особенно включающих подси-

стемы из нескольких предметных областей, исключительную роль играет интероперабельность на семантическом уровне, где имеются различные онтологии.

8. При применении подхода к обеспечению интероперабельности, зафиксированного в ГОСТ Р 55062 -2012, должен быть максимально учтен зарубежный опыт.

9. Для обеспечения интероперабельности необходимо, кроме создания концепции, выполнить ряд основных этапов: построение архитектуры, построение модели интероперабельности, построение профиля интероперабельности, программно-аппаратная реализация, аттестационное тестирование, а также выполнить ряд вспомогательных этапов: построение дорожной карты разработки стандартов, разработка стандартов, создание глоссария.

## 4.2. Архитектура SoS

С учетом отечественного и зарубежного опыта авторами предлагается трехмерная архитектура интероперабельности SoS (Рис. 3), подобно тому, как это сделано в [5, 24, 26]:

1. основные функции различных информационных систем предметных областей (ИСПО), составляющих SoS, и сервисы (службы), обеспечивающие интероперабельность каждой системы и SoS в целом;
2. множество систем, составляющих SoS;
3. множество подсистем, входящих в каждую систему.

Авторы отдают себе отчет, что это всего лишь ограниченный функционально-структурный подход, который не раскрывает полностью проблемы интероперабельности. Множество систем, составляющих SoS, отражает ее развитие в целом.

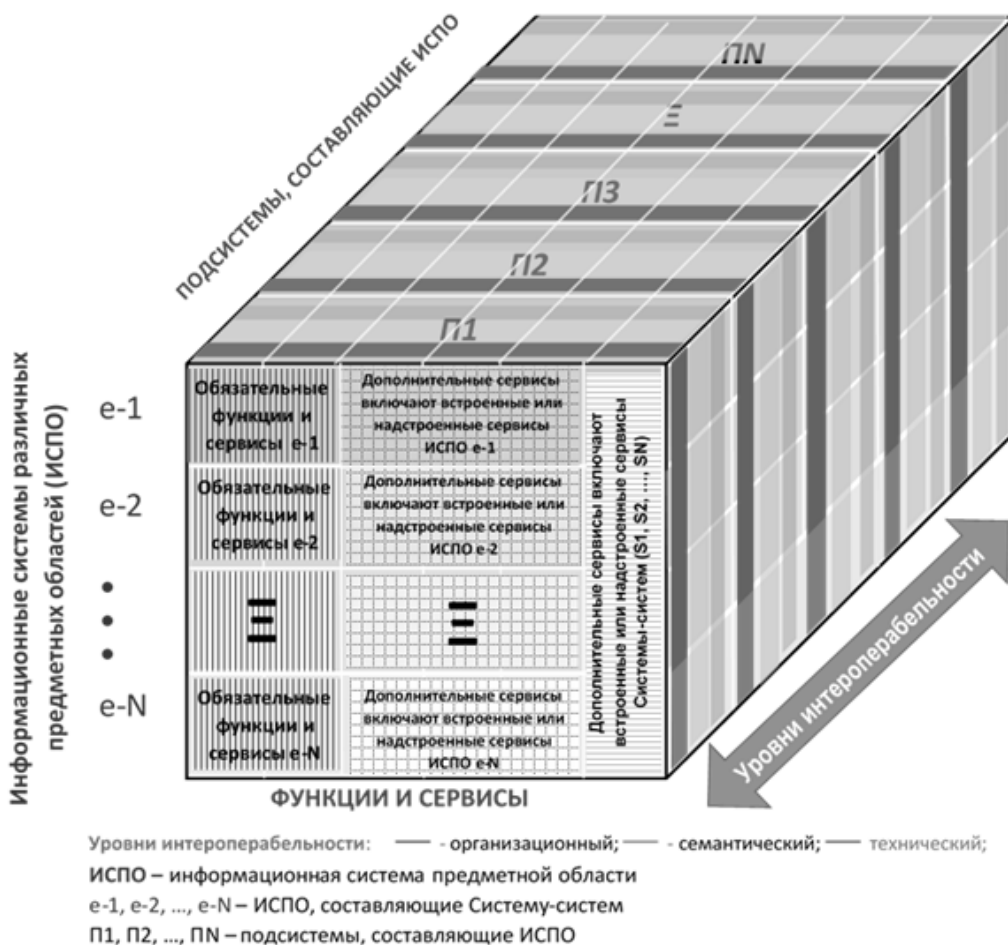


Рис. 3. Архитектура интероперабельной SoS

Каждая из систем или подсистем должна взаимодействовать с другой системой или подсистемой на основании модели интероперабельности и профиля интероперабельности.

Каждая система, входящая в SoS, разрабатывается для выполнения обязательных функций и предоставления обязательных сервисов, диктуемых данной предметной областью. Множество подсистем каждой системы отражает независимое развитие каждой системы как количественно, так и качественно (функции, сервисы).

### 4.3. Модель интероперабельности SoS

В соответствии с ГОСТ Р 55062-2012 п. 6.3.1 проблемно-ориентированная модель может иметь больше уровней интероперабельности за счет «расщепления» уровней эталонной модели в зависимости от вида интероперабельности. К этим видам могут относиться: динамическая, концептуальная, интеграционная интероперабельность и другие [1, 5, 24, 27, 28].

Так как модели архитектур систем (или эталонные архитектуры) могут быть разработаны

для отдельного решения (предметной области) и являются уникальными в каждом конкретном случае [5, 29], то эталонная модель в ГОСТ Р 55062-2012 является самым высоким уровнем обобщения и может быть применена для национального стандарта (ГОСТ Р) для SoS, но в более расширенном виде. Предлагаемая авторами модель интероперабельности SoS показана на Рис. 4.

Организационный уровень интероперабельности может быть разбит на четыре подуровня. Международные НД должны быть разработаны для организаций, работающих на международном уровне. Системы, входящие в SoS федерального и ведомственных уровней, взаимодействуют на основании федеральных законов и ведомственных нормативных документов (НД). Для всех систем, составляющих SoS, должны быть заключены договоры электронного взаимодействия о предоставляемых друг другу сервисах и изменениях в предоставлении сервисов при динамическом развитии SoS.

Семантический уровень интероперабельности - расщеплен на два подуровня, т.к. для это-

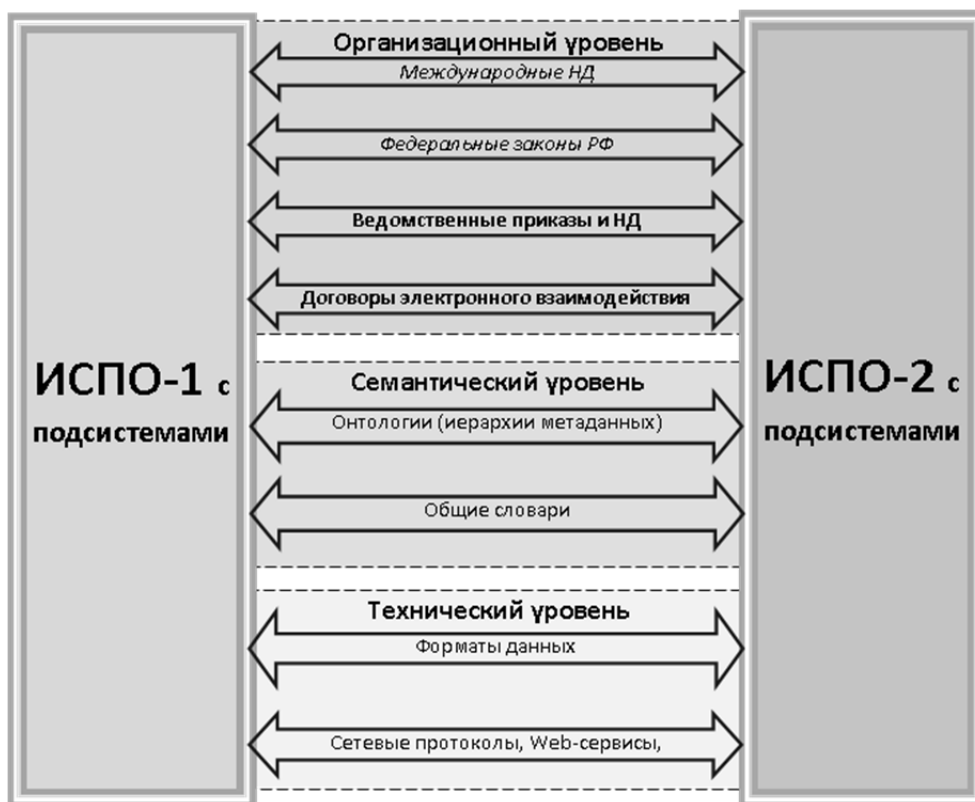


Рис. 4. Модель интероперабельности SoS

го уровня важным вопросом является решение проблемы структурирования данных для обмена ими. Структурированная информация о ресурсе любого типа формируется в виде метаданных: онтологии предметной области и общих словарей. Известны различные классификации метаданных. База данных общих словарей необходима для обеспечения расширенного поиска. Словарь данных обеспечивает основной принцип организации базы данных – независимость данных от используемого программного обеспечения.

Технический уровень, также как и семантический, разделяется на два подуровня.

Строго говоря, на всех уровнях модели интероперабельности должна быть обеспечена информационная безопасность, и должны быть включены соответствующие стандарты и другие нормативные документы.

#### 4.4. Профиль интероперабельности SoS

Следующим шагом при обеспечении интероперабельности, как известно [1] должен служить ключевой этап - построение профиля в терминах модели интероперабельности. Для SoS этот этап представляется крайне сложным. Для SoS, относящейся к одной предметной области, авторами были сделаны предложения применительно к таким областям, как здравоохранение [30], образование [31], военное дело [32], электронные библиотеки [5]. Даже для этих отдельных областей авторы столкнулись с большими трудностями, обусловленными почти полным отсутствием национальных стандартов, осложняющими применение предложенных профилей в отечественной практике. Дело в том, что согласно Федерального закона «О стандартизации» на территории РФ должны, в первую очередь, применяться национальные стандарты (ГОСТ Р), а их очень мало. Доля национальных ИКТ-стандартов составляет не более 5% от числа международных, и имеет тенденцию уменьшаться [33]. Для SoS, охватывающих две и более областей, на семантическом уровне должны быть приведены онтологии из всех входящих областей (Рис. 4.). То же самое касается и организационного уровня.

В отсутствие национальных стандартов на первом этапе разрешается как временная мера использовать международные стандарты, но

как видно из документа НАТО для военной области, этот документ [15] содержит несколько сотен стандартов, включая стандарты для ГРИД-систем [24] и систем облачных вычислений [18]. Поэтому привести профиль интероперабельности SoS в рамках статьи не представляется возможным.

Следует отметить, что на Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН возложено ведение технического подкомитета Росстандарта ПК206/ТК22 «Интероперабельность» основной функцией которого служит разработка профилей [25].

#### 4.5. Вспомогательные этапы при обеспечении интероперабельности SoS

Согласно [1] к основным этапам единого подхода относятся этапы 1-4, а именно разработка концепции, архитектуры, проблемно-ориентированной модели, профиля интероперабельности, а к вспомогательным – этапы 5-9.

Этап 5 - Программно-аппаратная реализация.

Программно-аппаратная реализация всех компонентов SoS должна осуществляться в соответствии с профилем интероперабельности SoS.

Этап 6 - Аттестационное тестирование.

Должна быть создана система сертификации, в рамках которой должно проводиться аттестационное тестирование программно-аппаратных комплексов и их компонентов на соответствие стандартам, входящим в профиль. Общие принципы аттестационного тестирования хорошо известны (например [34] раздел 4.2.4).

Этап 7 - Дорожная карта разработки стандартов.

В качестве первоочередного стандарта для SoS необходимо разработать аналог ГОСТ Р 55062-2012. Далее на основе стандартов, приведенных в профиле, должна быть определена очередность разработки национальных стандартов.

Этап 8 - Разработка национальных стандартов.

Разработка национальных стандартов должна вестись в порядке, установленном ФЗ «О стандартизации».

Этап 9 – Терминология.

Разработка документа, содержащего общие для всех заинтересованных сторон термины – глоссария, крайне важно для общего взаимопонимания всех участников.



## Заключение

1. Исследованы особенности решения проблемы интероперабельности в крупномасштабных информационных системах (SoS).

2. Показано, что в большинстве областей применения, составляющих информационное общество (наука, образование, здравоохранение, военное дело, цифровая экономика) имеется тенденция перехода к сверхсложным системам, относящимся к классу система систем, и в таких системах, включающих в себя все информационные системы более низких рангов, решение проблемы интероперабельности представляет особую сложность.

3. Сделана попытка применить к сверхсложным системам предложенный ранее единый подход к обеспечению интероперабельности.

4. Учитывая полученный опыт применения единого подхода и новые появившиеся зарубежные материалы представляется целесообразным частично актуализировать содержание ГОСТ Р 55062-2012.

## Литература

- ГОСТ Р 55062-2012. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. Введ. 2012-11-13. М.: Стандартинформ, 2012. 12 с. [Электронный ресурс]: профессиональные справочные системы «Техэксперт». / Консорциум Кодекс. URL: (<http://www.cntd.ru/assets/files/upload/050314/55062-2012.pdf>) (дата обращения: 14.12.2017).
- Maria Jose Escalona, Gustavo Aragon, Henry Linger, Michael Lang, Chris Barry, Christoph Schneider, eds. 2014 Information system development: improving enterprise communication., Springer International Publishing, eBook ISBN: 978-3-319-07215-9, 542 p.
- Firesmith D. Profiling Systems Using the Defining Characteristics of Systems of Systems (SoS), Carnegie Mellon University [Электронный ресурс]. 2010. URL: [https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/TechnicalNote/2010\\_004\\_001\\_15152.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalNote/2010_004_001_15152.pdf) (дата обращения: 13.06.2018).
- Гончаров Н.Г., Каменщиков А.А. Проблемы интероперабельности в медицине // Международная конференция "Стандартизация информационных технологий и интероперабельность (СИТОП-2007)" (Москва, 2-3 октября 2007): труды. М.: ОИТ и ВС РАН, ФАИТ и др. 2007. С. 70-76.
- Башлыкова А.А., А.А. Каменщиков А.А., Олейникова Я., Ширококова Т.Д., Чусов И.И., Проблема интероперабельности в электронных библиотеках. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №12. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec17/12/text.pdf> (дата обращения 14.12.2017).
- Folmer E., Verhoosel J. State of the Art on Semantic IS Standardization, Interoperability & Quality [Электронный ресурс]. URL: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/5132324> (дата обращения: 26.03.2018).
- Акаткин Ю.М., Дрожжинов В.М., Конявский В.А. Электронное правительство России как система систем: [Электронный ресурс]. 2014. URL: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/41b73fda3f58714844257e06004e94e4> (дата обращения: 12.06.2018).
- System of Systems Interoperability (SOSI): Final Report [Электронный ресурс]. URL: [https://www.researchgate.net/publication/237132093\\_System\\_of\\_Systems\\_Interoperability\\_SOSI\\_Final\\_Report](https://www.researchgate.net/publication/237132093_System_of_Systems_Interoperability_SOSI_Final_Report) (дата обращения: 20.06.2018).
- Levels of Information Systems Interoperability (LISI) [Электронный ресурс]. URL: <http://web.cse.msstate.edu/~hamilton/C4ISR/LISI.pdf> (дата обращения: 20.06.2018).
- Guertin N.H. Calhoun: The NPS Institutional Archive DSpace Repository Capability Composition and Data Interoperability to Achieve More Effective Results Than DoD System-of-Systems Strategies [Электронный ресурс]. 2018. URL: [https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/58724/SYM-AM-18-045-005\\_Guertin.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/58724/SYM-AM-18-045-005_Guertin.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (дата обращения: 21.06.2018).
- The New European Interoperability Framework | ISA2 [Электронный ресурс]. URL: [https://ec.europa.eu/isa2/eif\\_en](https://ec.europa.eu/isa2/eif_en) (дата обращения: 21.06.2018).
- Varga P. и др. Making system of systems interoperable – The core components of the arrowhead framework // J. Netw. Comput. Appl. 2017. Т. 81. P. 85–95.
- Curry E. System of systems information interoperability using a linked dataspace // 2012 7-th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE). IEEE, 2012. P. 101–106.
- ГОСТ Р ИСО 11354-1-2012 Усовершенствованные автоматизированные технологии и их применение. Требования к установлению интероперабельности процессов промышленных предприятий. Часть 1. Основа интероперабельности предприятий. Введ. 01.01.2014. М.: Стандартинформ, 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200102044> (дата обращения: 03.07.2018). [Advanced automation technologies and their applications. Requirements for establishing manufacturing enterprise process interoperability. Part 1. Framework for enterprise interoperability]
- NATO Interoperability Standards and Profiles [Электронный ресурс]. URL: <https://nhqc3s.hq.nato.int/Apps/Architecture/NISP/pdf/NISP-Vol1-v10-release.pdf> (дата обращения: 25.06.2018).
- Daclin N. IFIP AICT 380 - Embedding Interoperability in System of Systems: Definition and Characterization of Fundamental Requirements // IFIP AICT. 2012. Т. 380. P.p. 245–253.
- Zeigler B., Mittal S., Hu X. Towards a Formal Standard for Interoperability in M&S/System of Systems Integration [Электронный ресурс]. URL:

- <http://acims.asu.edu/wp-content/uploads/2012/02/Towards-a-Formal-Standard-for-Interoperability-in-MSSystem-of-Systems-Integration.pdf> (дата обращения: 25.06.2018).
18. Журавлев Е.Е., Иванов С.В., Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Разинкин Е.И., Рубан К.А. Интероперабельность в облачных вычислениях // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2013, № 9. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep13/4/text.pdf> (дата обращения 01.05.2018).
  19. Comprehensive Modelling for Advanced Systems of Systems [Электронный ресурс]. URL: <http://www.compass-research.eu/> (дата обращения: 26.06.2018).
  20. T-Area-SoS Overview [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tareasos.eu/index.php> (дата обращения: 26.06.2018).
  21. Approaches to Constructive Interoperability [Электронный ресурс]. URL: <https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetid=7221> (дата обращения: 26.06.2018).
  22. Батоврин В.К., Королев А.С. Способ количественной оценки интероперабельности [Электронный ресурс]. URL: [http://www.isa.ru/jitcs/images/stories/2009/05/91\\_96.pdf](http://www.isa.ru/jitcs/images/stories/2009/05/91_96.pdf) (дата обращения: 30.06.2018).
  23. International Telecommunication Union. ITU | 2017 Global ICT Development Index [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html#idi2017economyocard-tab&CUB> (дата обращения: 02.07.2018).
  24. 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. URL: [http://crm-en.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm\\_2015\\_3/15740.pdf](http://crm-en.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm_2015_3/15740.pdf) (дата обращения 01.05.2018).
  25. Быстров Р.П., Корниенко В.Н., Олейников А.Я. Интероперабельность, информационное противоборство и радиоэлектронная борьба. // Успехи современной радиоэлектроники. – М: Радиотехника - 2018. - № 5. - С. 15-34.
  26. Журавлев Е.Е., Олейников А.Я. Интероперабельность в e-science. // Информатизация и связь. 2009. №5. С. 48-55. URL: [http://www.isa.ru/jitcs/images/stories/2009/05/48\\_55.pdf](http://www.isa.ru/jitcs/images/stories/2009/05/48_55.pdf) (дата обращения: 01.05.2018).
  27. Журавлёв Е.Е., Иванов С.В., Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Чусов И.И., Широбокова Т.Д. Особенности методики обеспечения интероперабельности в грид-среде и облачных вычислениях // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал], 2014, № 11. URL: <http://jre.cplire.ru/alt/nov14/2/text.html> (дата обращения 17.10.2017).
  28. Иванов С.В., Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Широбокова Т.Д. Развитие работ по e-science и интероперабельности. // Информатизация и связь. 2015. №3. С. 5-10. URL: [http://cplire.ru:8080/3526/1/%D0%AE%20%D0%92%2080%2030\\_06.pdf](http://cplire.ru:8080/3526/1/%D0%AE%20%D0%92%2080%2030_06.pdf) (дата обращения 01.05.2018).
  29. Иванов С.В., Олейников А.Я. Методика и алгоритм выбора стандартов для профиля интероперабельности в облачных вычислениях. // Труды 7-ой Международной конференция «Распределенные вычисления и Grid-технологии в науке и образовании». Дубна: ОИЯИ. С. 264-270. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1787/264-270-paper-44.pdf> (дата обращения 01.05.2018). The method and standard choosing algorithm for cloud computing interoperability profile
  30. Каменщиков А.А. Интероперабельность в области e-health // Информационные технологии и вычислительные системы. 2009. №5. С. 67-71.
  31. Рубан К.А. Особенности интероперабельности в системах электронного образования // Информационные технологии и вычислительные системы. 2009. №5. С. 72-82.
  32. 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.
  33. С.А. Головин, А.А. Зацаринный, С.В Козлов. Научно-методические подходы к совершенствованию нормативной базы для создания и развития информационно-телекоммуникационных систем. // Системы и средства информатики. 2017. Т. 27. №2. С. 98-112.
  34. Технология открытых систем. / под редакцией А.Я. Олейникова. – М.: Янус-К, 2004. - 288 с., илл. Доступ с сайта BookFi. URL: <http://bookfi.net/book/505455> (дата обращения: 14.12.2017).

**Каменщиков Андрей Александрович.** Федеральное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А Котельникова РАН), г. Москва, Россия. Старший научный сотрудник, кандидат технических наук. Количество печатных работ: 19. Область научных интересов: интероперабельность информационных систем. E-mail: [prostonau@mail.ru](mailto:prostonau@mail.ru)

**Олейников Александр Яковлевич.** Федеральное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А Котельникова РАН), г. Москва, Россия. Главный научный сотрудник, доктор технических наук, профессор. Количество печатных работ: 250 (в т.ч. 1 монография). Область научных интересов: открытые информационные системы, интероперабельность. E-mail: [olein@cplire.ru](mailto:olein@cplire.ru)

**Широбокова Тамара Дмитриевна.** Федеральное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А Котельникова РАН), г. Москва, Россия. Научный сотрудник. Количество печатных работ: 18. Область научных интересов: интероперабельность информационных систем. E-mail: [shirobokovatamara@yandex.ru](mailto:shirobokovatamara@yandex.ru)

## Investigation of the interoperability problem features in large-scale information systems

A.A. Kamenshchikov, A.Ya. Oleynikov, T.D. Shirobokova

Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics (IRE) of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The "problem of interoperability" in the field of large-scale information systems abroad and in the Russian Federation is studied. It is shown that large-scale information systems are created and combined abroad on the basis of the principles of interoperability, i.e. on the basis of the use of information and communication technologies standards. It is proposed to apply the developed by the authors earlier and fixed in GOST R 55062-2012 unified approach to ensure interoperability of information systems of different classes to the field of large-scale information systems using foreign experience.

**Keywords:** large-scale information systems, system of systems, interoperability, framework, architecture, interoperability model, standards.

DOI 10.14357/20718632180302

### References

1. GOST R 55062-2012 Informacionnye tehnologii. sistemy promyshlennoj avtomatizacii. i ih integracija. interoperabel'nost'. Osnovnye polozenija. [Information technologies. Industrial automation systems and integration. Interoperability. Basic principles.] Moscow, Standartinform Publ., 2012. 12 p. (In Russian). Available at: ([http://opensys.info/files/data\\_20130514161145.pdf](http://opensys.info/files/data_20130514161145.pdf)) (accessed September 27, 2016).
2. Maria Jose Escalona, Gustavo Aragon, Henry Linger, Michael Lang, Chris Barry, Christoph Schneider, eds. 2014 Information system development: improving enterprise communication., Springer International Publishing, eBook ISBN: 978-3-319-07215-9, 542 p.
3. Firesmith D. Profiling Systems Using the Defining Characteristics of Systems of Systems (SoS), Carnegie Mellon University. 2010. Available at: [https://resources.sei.cmu.edu/asset\\_files/TechnicalNote/2010\\_004\\_001\\_15152.pdf](https://resources.sei.cmu.edu/asset_files/TechnicalNote/2010_004_001_15152.pdf) (accessed June 13, 2018).
4. Goncharov N.G., Kamenshchikov A.A. Problemy interoperabel'nosti v medicine [Problems of interoperability in medicine]. Trudy Mezhdunarodnoj konferencii "Standartizaciya informacionnyh tekhnologij i interoperabel'nost' (SITOP-2007)" [International Conference "Standardization of Information Technologies and Interoperability (SITOP-2007)"]. Moscow. 2007. 70-76.
5. Bashlykova A.A., Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Ya., SHirobokova T.D., I.I. Chusov I.I. The problem of interoperability in digital libraries. Zhurnal Radioelektroniki - Journal of Radio Electronics. 2017. No. 12. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/dec17/12/text.pdf> (accessed June 13, 2018)
6. Folmer E., Verhoosel J. State of the Art on Semantic IS Standardization, Interoperability & Quality Available at: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/5132324> (Accessed June 13, 2018).
7. Akatkin YU.M., Drozhzhinov V.M., Konyavskij V.A. Elektronnoe pravitel'stvo Rossii kak sistema system. [Electronic government of Russia as a system of systems]. 2014. Available at: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/41b73fda3f58714844257e06004e94e4> (accessed June 12, 2018)
8. System of Systems Interoperability (SOSI): Final Report. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/237132093\\_System\\_of\\_Systems\\_Interoperability\\_SOSI\\_Final\\_Report](https://www.researchgate.net/publication/237132093_System_of_Systems_Interoperability_SOSI_Final_Report) (accessed June 20, 2018).
9. Levels of Information Systems Interoperability (LISI) Available at: <http://web.cse.msstate.edu/~hamilton/C4ISR/LISI.pdf> (accessed June 20, 2018).
10. Guertin N.H. Calhoun: The NPS Institutional Archive DSpace Repository Capability Composition and Data Interoperability to Achieve More Effective Results Than DoD System-of-Systems Strategies 2018. Available at: [https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/58724/SYM-AM-18-045-005\\_Guertin.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/58724/SYM-AM-18-045-005_Guertin.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (accessed June 21, 2018).
11. The New European Interoperability Framework - ISA2. Available at: [https://ec.europa.eu/isa2/eif\\_en](https://ec.europa.eu/isa2/eif_en) (accessed June 21, 2018).
12. Varga P. и др. Making system of systems interoperable – The core components of the arrowhead framework // J. Netw. Comput. Appl. 2017. Vol. 81. P. 85–95.
13. Curry E. System of systems information interoperability using a linked data space. 7-th International Conference on System of Systems Engineering (SoSE). IEEE, 2012. P. 101–106.
14. GOST R ISO 11354-1-2012 Uovershenstvovannye avtomatizirovannye tekhnologii i ih primenenie. Trebovaniya k ustanovleniyu interoperabel'nosti processov promyshlennyh predpriyatij. CHast' 1. Osnova interoperabel'nosti predpriyatij [Advanced automation technologies and their applications. Requirements for establishing manufacturing enterprise process interoperability. Part 1. Framework for enterprise interoperability]. 2012. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200102044> (accessed July 03, 2018).
15. NATO Interoperability Standards and Profiles Available at: <https://nhqc3s.hq.nato.int/Apps/Architecture/NISP/pdf/NISP-Vol1-v10-release.pdf> (accessed June 25, 2018).

16. Daclin N. IFIP AICT 380 - Embedding Interoperability in System of Systems: Definition and Characterization of Fundamental Requirements // IFIP AICT. 2012. Vol. 380. P. 245–253.
17. Zeigler B., Mittal S., Hu X. Towards a Formal Standard for Interoperability in M&S/System of Systems Integration. Available at: <http://acims.asu.edu/wp-content/uploads/2012/02/Towards-a-Formal-Standard-for-Interoperability-in-MSSystem-of-Systems-Integration.pdf> (accessed June 21, 2018).
18. Zuravlev E.E., Ivanov S.V., Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Ya., Razinkin E.I., Ruban K.A. Interoperabel'nost' v oblachnyh vychisleniyah [Interoperability in cloud computing]. Zhurnal Radioelektroniki - Journal of Radio Electronics. 2013. No. 9. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/sep13/4/text.pdf> (accessed May 01, 2018).
19. Comprehensive Modelling for Advanced Systems of Systems Available at: <http://www.compass-research.eu/> (accessed June 26, 2018).
20. T-Area-SoS Overview Available at: <https://www.tareaso.eu/index.php> (accessed June 26, 2018).
21. Approaches to Constructive Interoperability Available at: <https://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?assetid=7221> (accessed June 26, 2018).
22. Batovrin V.K., Korolev A.S. Sposob kolichestvennoj ocenki interoperabel'nosti [The method for quantifying interoperability]. Available at: [http://www.isa.ru/jitsc/images/stories/2009/05/91\\_96.pdf](http://www.isa.ru/jitsc/images/stories/2009/05/91_96.pdf) (accessed June 26, 2018).
23. International Telecommunication Union. ITU | 2017 Global ICT Development Index. Available at: <https://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2017/index.html#idi2017economytab&CUB> (accessed July, 02, 2018).
24. Zhuravlev E.E., Ivanov S.V., Kamenshchikov A.A., Kornienko V.N., Oleynikov A.Ya. SHirobokova T.D. Osobennosti metodiki obespecheniya interoperabel'nosti v grid-srede i oblachnyh vychisleniyah [Features of the methodology for ensuring interoperability in the grid environment and cloud computing]. Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie [Computer studies and modeling]. 2015. Vol. 7. No 3, P. 675-682. Available at: [http://crm-en.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm\\_2015\\_3/15740.pdf](http://crm-en.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm_2015_3/15740.pdf) (accessed May 01, 2018).
25. Bystrov R.P., Kornienko V.N., Oleynikov A.Ya. Interoperabel'nost', informacionnoe protivoborstvo i radioelektronnaya bor'ba. [Interoperability, information confrontation and electronic warfare]. Uspekhi sovremennoj radioelektroniki [The successes of modern radio electronics]. 2018. No 5. P. 15-34.
26. Zhuravlev E.E., Oleynikov A.Ya. Interoperabel'nost' v e-science [Interoperability in e-science]. Informatizaciya i svyaz' [Informatization and communication]. 2009. No 5. P. 48-55. Available at: [http://www.isa.ru/jitsc/images/stories/2009/05/48\\_55.pdf](http://www.isa.ru/jitsc/images/stories/2009/05/48_55.pdf) (accessed May 01, 2018)
27. Zhuravlev E.E., Ivanov S.V., Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Ya. Chusov I.I., SHirobokova T.D. Osobennosti metodiki obespecheniya interoperabel'nosti v grid-srede i oblachnyh vychisleniyah [Features of the methodology for ensuring interoperability in the grid environment and cloud computing]. Zhurnal Radioelektroniki - Journal of Radio Electronics. 2014. No. 11. Available at: <http://jre.cplire.ru/alt/nov14/2/text.html> (accessed 17.10.2017).
28. Ivanov S.V., Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Ya., SHirobokova T.D. Razvitie rabot po e-science i interoperabel'nosti [Development of works on e-science and interoperability]. Informatizaciya i svyaz' [Informatization and communication]. 2015. No 3. P. 5-10. Available at: [http://cplire.ru:8080/3526/1/%D0%AE%20%D0%92%2080%2030\\_06.pdf](http://cplire.ru:8080/3526/1/%D0%AE%20%D0%92%2080%2030_06.pdf) (accessed May 01, 2018)
29. Ivanov S.V., Oleynikov A.Ya. Metodika i algoritm vybora standartov dlya profilya interoperabel'nosti v oblachnyh vychisleniyah [The method and standard choosing algorithm for cloud computing interoperability profile]. Trudy 7-oy Mezhdunarodnoj konferencii "Raspredelennye vychisleniya i Grid-tehnologii v nauke i obrazovanii" [7th Conference (International) "Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education"]. Dubna. P. 264-270. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-1787/264-270-paper-44.pdf> (accessed May 01, 2018)
30. Kamenshchikov A.A. Interoperabel'nost' v oblasti e-health. [Interoperability in e-health area]. Informacionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy [Information technology and computer systems]. 2009. No5. P.67-71.
31. Ruban K.A. Osobennosti interoperabel'nosti v sistemah ehlektronnogo obrazovaniya [Features of interoperability in e-learning systems]. Informacionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy. [Information technology and computer systems]. 2009. No5. P.72-81.
32. Bashlykova A.A., Kamenshchikov A.A., Oleynikov A.Ya. O podhodah k razrabotke profiley interoperabel'nosti v voennoj oblasti [On approaches to the development of interoperability profiles in the military field]. Informacionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy. [Information technology and computer systems]. 2017. No4. P.112-121.
33. Golovin S.A., Zacarinnyj A.A., Kozlov S.V. Nauchno-metodicheskie podhody k sovershenstvovaniyu normativnoj bazy dlya sozdaniya i razvitiya informacionno-telekommunikacionnyh sistem [Scientific and methodological approaches to improving the regulatory framework for the creation and development of information and telecommunication systems.]. Sistemy i sredstva informatiki [Systems and means of informatics]. 2017. Vol. 27. No 2. P. 98-112.
34. Edited by A. Ya. Oleynikov. Tehnologija otkrytyh sistem [The technology of open systems]. - Moscow: Janus-K, 2004. 288p. (In Russian)

**Kamenshchikov Andrey Alexandrovich.** Researcher, Institute of Radio Engineering and Electronics. V.A. Kotelnikov RAS, 11/7 st. Mokhovaya, Moscow, Russia. Candidate of Technical Sciences. In 2006 he graduated from MPhI Technical University. Number of publications: 19. Research interests: interoperability of information systems. E-mail: [prostonau@mail.ru](mailto:prostonau@mail.ru)

---

**Oleynikov Alexander Yakovlevich.** Chief Researcher, Head of the Center for Open Systems, Institute of Radio Engineering and Electronics. V.A. Kotelnikov RAS, 11/7 st. Mokhovaya, Moscow, Russia. Doctor of Technical Sciences, Professor. In 1961 he graduated from the Physics Department of the Moscow State University. M.V. Lomonosov Moscow State University. Number of publications: 250. Research interests: open information systems, interoperability. E-mail: olein@cplire.ru

**Tamara Dmitrievna Shirobokova.** Researcher, Institute of Radio Engineering and Electronics. V.A. Kotelnikov RAS, 11/7 st. Mokhovaya, Moscow, Russia. Research interests: interoperability of information systems. E-mail: shirobokovatamara@yandex.ru