

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.6.3>

УДК 004.81

## СЕМАНТИЧЕСКАЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

С. И. Макаренко<sup>1</sup>, О. С. Соловьева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, 199178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39

<sup>2</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, Санкт-Петербург, Московский проспект, 9

Статья поступила в редакцию 3 июня 2021 г.

**Аннотация:** В статье на основе мультиагентного подхода и SCOPE-модели (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model for Interoperability Assessment) предложен подход к моделированию семантического взаимодействия элементов сетецентрических информационно-управляющих систем (СЦИУС) и контекстных параметров взаимодействия. Особенностью предложенного подхода является то, что элементы СЦИУС формализованы в виде агентов различных типов (агенты-люди и технические когнитивные агенты), семантика взаимодействия определяется целями агентов, предметной областью взаимодействия и контекстом, а правильная интерпретация взаимодействия – моделью знаний агентов. Данное исследование проводится в рамках проекта РФФИ № 19-07-00774.

**Ключевые слова:** семантическая интероперабельность, сетецентрические системы, мультиагентная модель, агент, взаимодействие, совместимость.

**Abstract:** In the paper is proposed an approach for semantic interaction modelling of network-centric system elements and their context parameters based on the multi-agent approach and the systems, capabilities, operations, programs, and enterprises model for interoperability assessment. The peculiarity of this approach is that the elements of a network-centric system are formalized as agents of various types (human agents and technical cognitive agents), where the semantic interaction is determined by the agent goals, the subject area of interaction and the context. In

addition, correct of interaction interpretation is determined the agent's knowledge model. The current study takes place as a part of Russian Foundation for basic research finance project no. 19-07-00774.

**Keywords:** interoperability, net-centric system, multi-agent model, agent, interaction, semantic compatibility.

## Введение

В настоящее время развитие информационных систем ведется в направлении их интеграции и глобализации. Первостепенным, можно сказать ключевым, принципом построения объединения информационных систем служит интероперабельность, как свойство бесшовной информационной интеграции отдельных систем, 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».

Следует отметить, что несмотря на то, что в отечественной литературе достаточно большое число публикаций посвящено вопросам интероперабельности информационных систем [3-24], в том числе – информационных систем специального назначения [25-30], подавляющая часть этих работ посвящена исследованию вопросов технической интероперабельности. В то же время работ по проблеме интероперабельности на семантическом уровне информационных систем несравненно меньше. К основным из них стоит отнести работы [31-34].

В работе [35] представлена обобщенная модель интероперабельности сетцентрической информационно-управляющей системы (СЦИУС), разработанная международным консорциумом организаций NCOIC – «Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model for Interoperability Assessment» (SCOPE-модель). В то же время в российском нормативно-правовом поле введен в действие ГОСТ Р 55062-2012 [2], содержащий

трехуровневую эталонную модель интероперабельности и методику ее достижения. В работе [17] обоснован вариант декомпозиции параметров SCOPE-модели и их приведения к эталонной модели, представленной в ГОСТ Р 55062-2012 (рис. 1), а в работе [36] авторами предложена концепция семантической интероперабельности СЦИУС в виде «семантической сети» взаимодействующего множества ее элементов: агентов-людей и технических агентов – т.е. фактически СЦИУС на семантическом уровне представлена в виде человеко-машинной мультиагентной системы. Эта концепция основана на переработке раздела «Semantic Interoperability Conceptual Framework» в SCOPE-модели [35] с целью ее адаптации к основным положениям ГОСТ Р 55062-2012 [2] и соответствует блоку 2.1 на рис. 1. Вместе с тем, при формировании концепции семантической интероперабельности недостаточно подробными оказались проработаны вопросы семантической интероперабельности взаимодействия агентов мультиагентной системы, формализующих элементы СЦИУС (блок 2.2 на рис. 1), а также контекстные параметры их взаимодействия (блок 2.3 на рис. 1).

Таким образом, целью данной работы является разработка вопросов семантической интероперабельности и контекстных параметров взаимодействия агентов в ранее обоснованной мультиагентной системе [36], соответствующей формализации «семантической сети» СЦИУС на семантическом уровне интероперабельности. Данное исследование продолжает и развивает ранее опубликованные работы авторов [3, 6, 7, 17, 18, 24, 35-37].

## **1. Используемые термины и определения**

Вопросы, относящиеся к семантической интероперабельности, тесно связаны с некоторыми понятиями, которые следует четко определить до рассмотрения последующего материала статьи.

*Агент* – типовой участник процесса взаимодействия, являющийся частью информационной системы. В данной статье под агентом понимается элемент, объект или составная часть сетцентрической системы, относящийся к одному из двух типов: человек-агент или технический агент [36].

*Взаимодействие* – процессы воздействия различных объектов друг на друг посредством обмена информацией [36].



Рис. 1. Место и роль рассматриваемых вопросов семантической интероперабельности взаимодействия и контекстных параметров взаимодействия в общей структуре интероперабельности в соответствии с ГОСТ Р 55062-2012.

*Данные* – поддающееся многократной интерпретации представление информации в формализованной знаково-символьной форме, пригодной для сбора, хранения, передачи, обработки или представления в информационных системах [38].

*Декларативные знания* – знания в форме описания фактов, событий или явлений к которым носитель знания имеет осознанный доступ и которое он может декларировать – т.е. изложить в вербальной (языковой) или знаково-символьной (письменной) форме [39].

*Знания* – совокупность информации о некоторой предметной области, хранящихся в формально-упорядоченном виде и пригодной для решения какой-либо задачи или достижения определенной цели; проверенный практикой и удостоверенный логикой результат познания действительности, отраженный в виде представлений, понятий, суждений и теорий [38]. В обобщенном виде можно записать: «знания» = «информация» + «цель» [39].

*Интероперабельность* – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена [1, 2].

*Интерпретация* – раскрытие смысла информации, текста или знаковой структуры, способствующее их пониманию [38].

*Информация* – сведения, независимо от формы их представления, относительно фактов, событий, вещей, идей и понятий, которые в определенном контексте имеют конкретный смысл (семантическое значение) и интерпретацию [38]. В обобщенном виде можно записать: «информация» = «данные» + «смысл» [39].

*Когнитивность* – способность к восприятию информации и ее интерпретации [38].

*Когнитивный агент (КА)* – технический агент, способный воспринимать информацию и интерпретировать ее в соответствии со своей моделью знаний [35].

*Контекст* – обстоятельства, от которых зависит восприятие информации; совокупность фактов и обстоятельств, в окружении которых происходит какое-либо событие, существует какое-либо явление, какой-либо объект [38].

*Модель знаний* – структура логически и семантически взаимосвязанных знаний о некоторой предметной области, включающая в себя: 1) факты, относящиеся к предметной области; 2) закономерности, характерные для предметной области; 3) гипотезы о возможных связях между явлениями, процессами и фактами; 4) процедуры для решения типовых задач в данной предметной области [38].

*Предметная область* – множество всех предметов как какой-либо части реального физического мира, так и социального, организационного мира человека, свойства которых и отношения между которыми изучаются, рассматриваются и интерпретируются [38].

*Процедурные знания* – последовательность действий, которое может использоваться при решении задач, достижения определенной цели и получении новых знаний [39].

*Семантика* – смысл языкового высказывания или формально-символического выражения [39].

*Семантическая интероперабельность* – способность взаимодействующих систем одинаковым образом интерпретировать смысл информации, которой они обмениваются [2].

*Смысл* – сущность, внутреннее содержание, значение чего-либо в широком контексте реальности с учетом: знаний о нем; возможностей и контекста использования или употребления; роли и места среди других объектов; интерпретации, обусловленной особенностями восприятия конкретной личности или общества [38, 39].

*Совместимость* – способность двух или более объектов взаимодействовать друг с другом [38]. Применительно к материалу данной статьи термин «совместимость» используется применительно к отдельным частным параметрам взаимодействия агентов, таким как: цели агентов, предметная область взаимодействия, контекст, модели знаний агентов. При этом подразумевается, что обеспечению семантической интероперабельности соответствует обеспечение совместимости всех вышеуказанных частных параметров взаимодействия. Таким образом, понятие «совместимость» соотносится с понятием «интероперабельность» так же как «частное» к «общему».

*Сообщение* – конечный набор данных, содержащий информацию о каком-либо отдельном факте, явлении или событии, который является базовой семантически-неделимой частью процесса передачи информации [38].

*Технический агент* (ТА) – агент, представляющей собой технический элемент информационной системы. В рамках данной концепции технические агенты подразделяются на когнитивные агенты и реактивные агенты [35].

*Цель* – идеальное, мысленное предвосхищение результата деятельности, зависящее от объективных законов действительности, реальных возможностей субъекта и применяемых им средств для ее достижения [38].

*Человек-агент* (ЧА) – агент, представляющей собой человека-оператора, лицо принимающее решение или пользователя информационной системы [35].

## **2. Семантическая интероперабельность взаимодействия**

### ***2.1. Взаимодействие агентов: семантика взаимодействия, типы взаимодействия, основные особенности***

Взаимодействие ЧА–ЧА, ТА–ТА, а также ЧА–ТА требует обмена сообщениями, несущими целевую информацию и состоящими из конечного набора понятий. Эти понятия требуют семантической интерпретации – определения смысла понятий, используемых в сообщениях, выражения смысла через уже известные понятия, содержащиеся в модели предметной области агента, где новые понятия уточняют значение сообщения, запроса, ответа, выражения или предложения, описывающего внешний мир или ситуацию.

Способности агентов понимать сообщения улучшается при их объединении в глобальную систему, и уменьшается при повышении уровня специализации агентов. Глобализация требует формирования набора универсальных понятий и правил их использования – универсального языка, одинаково интерпретируемого всеми агентами. В тоже время специализация приводит к формированию ограниченного набора «профессиональной» терминологии, которые слабо интерпретируются агентами, не обладающими нужной специализацией. Примером глобального языка ЧА может служить общеупотребительный базис английского языка, а примерами «профессиональной» терминологии ЧА – медицинская, инженерная или, юридическая лексика. Подробнее влияние лингвистики на семантическую интероперабельность рассмотрено в п. 2.4.1.

При взаимодействии ЧА–ТА и ТА–ТА количество понятий, используемых в сообщениях ограничено, а их использование – строго формализовано. Взаимодействия ТА–ТА и ЧА–ТА имеют дополнительную проблему – predetermined семантические термины, созданные в ходе жизненного цикла ТА, теряются. Эта проблема усугубляется распространением различных типов технологий и связанных с ними специализированных понятий. В большинстве случаев ЧА должны изучить документацию к ТА, чтобы иметь возможность адекватно взаимодействовать с ними.

В работе [35] показано, что в общем случае взаимодействие между агентами на семантическом уровне интероперабельности может быть описано совокупностью трех основных элементов:

Взаимодействие = <Цель, Предметная область, Контекст>.

При этом, каждый из агентов и взаимодействие между ними определяется следующей совокупностью параметров:

- моделью знаний агента (для ЧА и КА);
- целью взаимодействия;
- предметной областью взаимодействия;
- контекстом взаимодействия.

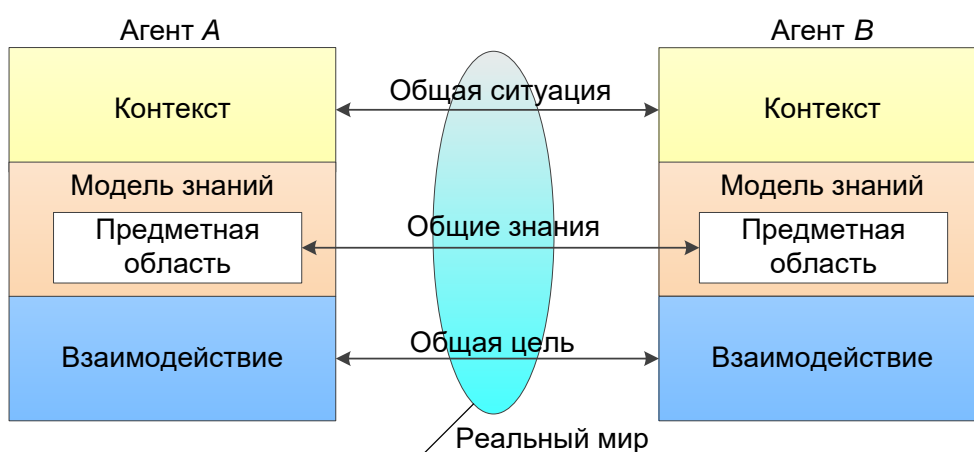


Рис. 2. Взаимно-согласованная семантическая интерпретация взаимодействия агентами.

Только та информация, которая находится на взаимных пересечениях соответствующих моделей знаний, целей, предметных областей и контекстов



взаимодействующих агентов, имеет шанс на корректную взаимно-согласованную семантическую интерпретацию (рис. 2).

Если взаимодействующие агенты имеют различия в их моделях знаний или различия в интерпретации целей, понятий предметной области или контекста, то они не смогут достичь взаимно-согласованного понимания сообщений друг друга. В некоторых случаях их модели знаний, цели, предметные области и контекст могут перекрываться, обеспечивая низкий уровень общего понимания. Эта ситуация может привести к неадекватной интерпретации сообщений друг друга из-за вероятности достижения совершенно разных выводов в результате тонких различий в значении якобы сходных понятий, используемых в сообщениях.

Акт взаимодействия агентов, как правило представляет собой обмен сообщениями, в вербальной (речь) или знаково-символьной форме (данные), содержащими определенные понятия. Вербальное (речевое) взаимодействие характерно для взаимодействия ЧА–ЧА, а знаково-символьное – для взаимодействий ЧА–ТА и ТА–ТА.

Сообщения, содержащие понятия в пределах конкретной предметной области, как правило, подчинены некоторой синтаксической и семантической форме, включающей правила грамматики, понятия и лексику для этой области, а также модель возможных высказываний или выражений, использующих эти понятия. Однако интерпретация смысла как отдельных понятий, так и сообщения в целом определяются моделью знаний, заложенной в агенте. Показатель «семантическая выразительность» будет определять различные уровни явной и неявной интерпретации смысла одних и тех же понятий и сообщений, а также их «эмоциональную окраску» в зависимости от контекста их использования и имеющийся у агента модели знаний. Например, сухой точный академический стиль сообщений имеет наивысший уровень семантической выразительности, но наименьший уровень эмоциональной окраски. В тоже время стиль ряда средств массовой информации, так называемой «желтой прессы», насыщенный двусмысленными выражениями и

повествующий о каком-либо незначительном событии, может иметь низкий уровень семантической выразительности, но высокий уровень эмоциональной окраски.

Взаимодействие, в зависимости от явного или неявного представления той или иной составной его части, а также параметров агентов, можно классифицировать следующим образом по мере убывания степени семантической интероперабельности взаимодействия:

- явно взаимосвязанные: цели, предметная область, контексты и модели знаний агентов;
- явно взаимосвязанные: цели, контексты и модели знаний агентов, неявная взаимосвязь предметных областей агентов;
- явно взаимосвязанные контексты и модели знаний агентов, неявная взаимосвязь целей и предметных областей агентов;
- явно взаимосвязанные контексты и модели знаний агентов, неявная взаимосвязь целей и предметных областей агентов;
- явно взаимосвязанные цели и предметные области агентов, неявная взаимосвязь контекстов и моделей знаний агентов;
- явно взаимосвязанные предметные области агентов, неявная взаимосвязь целей, контекстов и моделей знаний агентов;
- явно взаимосвязанные цели агентов, неявная взаимосвязь предметных областей, контекстов и моделей знаний агентов;
- неявная взаимосвязь: целей, предметных областей, контекстов и моделей знаний агентов.

### 2.1.1. Модель знаний агента

Модель знаний агента содержит явные или неявные подмножества знаний о реальном физическом и социальном мире, представленные в виде совокупности подмножеств предметных областей. Успешность взаимодействия агентов в значительной степени зависит от единообразия интерпретации смысла сообщений, которыми они обмениваются. Модель знаний агента и содержащиеся в ней понятия в различных предметных областях определяют

сообщения, которые агент понимает и может передавать при взаимодействии с другими агентами. Здесь и далее под агентом понимается ТА, обладающий собственной моделью знаний – КА.

Предметные области в модели знаний характеризуется индивидуальным набором понятий, законов, фактов, объектов и связей между ними. В общем случае знания, содержащейся в модели знаний, могут быть двух видов [39]:

- *процедурные знания* – последовательность действий, которое может использоваться при решении задач, достижения определенной цели и получении новых знаний (процедурные знания могут быть реализованы, например, в виде совокупности программ);
- *декларативные знания* – знания в форме описания фактов, событий или явлений к которым носитель знания имеет осознанный доступ и которое он может декларировать – т.е. изложить в вербальной (языковой) или знаково-символьной (письменной) форме.

Модель знаний КА может быть моделью одного типа или комбинацией нескольких типов (рис. 3) [39]:

- продукционная модель знаний;
- модель знаний типа «семантическая сеть»;
- фреймовая модель знаний;
- логическая модель знаний;
- псевдофизическая модель знаний.

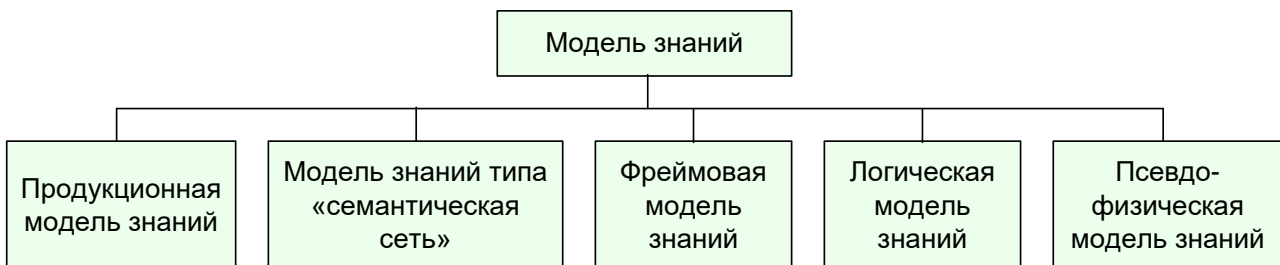


Рис. 3. Типы модели знаний когнитивного агента.

Продукционная модель знаний представляет собой совокупность продукций (правил) вида:

ЕСЛИ <условие>, ТОГДА <действие>.

Продукция состоит из двух частей – условие и действие. При этом условия и действия можно сочетать с помощью логических функций И, ИЛИ, НЕ. Условия и действия продукций формируются из атрибутов и значений. Продукция срабатывает, если при сопоставлении фактов, содержащихся в базе знаний с условием, которое подвергается проверке, имеет место совпадение [39].

Модель знаний типа «семантическая сеть» представляет собой ориентированный граф, где вершинам соответствуют конкретные объекты предметной области, а дугам – отношения между ними [39].

Фреймовая модель знаний описывает знания в виде совокупности фреймов, связанных между собой иерархической или сетевой структурой отношений. Фрейм – структура, в виде совокупности атрибутов, описывающая объект или понятие предметной области, которая может рассматриваться и обрабатываться обособленно от других объектов или понятий [39].

Логическая модель знаний представляет собой формальную систему в которой все знания о предметных областях описываются в виде формул алгебры логики (логики предикатов) или правил вывода. Параметры в логических выражениях соответствуют декларативным знаниям, а правила вывода (логические выражения) – процедурным знаниям. Подразумевается, что существует конечное, не пустое множество объектов предметной области. На этом множестве с помощью логических выражений установлены связи между объектами. В свою очередь на основе этих связей строятся все закономерности и правила предметной области [39].

Псевдофизическая модель знаний соответствует логической модели знаний основанной на нечеткой логике – использовании в качестве параметров логические выражения нечетких переменных, а также дополнении логических выражений операциями нечеткого вывода [39].

Современное развитие методов формирования моделей знаний КА, предоставляют средства для оперативной формализации и размножения

множества понятий и знаний, различного уровня семантической выразительности. Причем наивысший уровень семантической выразительности дает формализация понятий в виде онтологий и метаданных.

### *2.1.2. Цель взаимодействия*

Взаимодействие агентов, обусловлено необходимостью достижения какой-либо цели или решения целевой задачи. Где цель – это идеальное предвосхищение результата деятельности, зависящее от объективных законов действительности, реальных возможностей агента и применяемых им средств для ее достижения.

Цель может пониматься в широком и в узком смысле.

В широком смысле, цель – это результат деятельности агента или их совокупности на которое направленно сама суть организации их взаимодействия. В широком смысле целью может быть организация управления сложной системой, перераспределение ресурсов системы между агентами, координация совместной деятельности агентов для решения общей задачи и т.д. Возможны случаи, когда взаимодействуют агенты, имеющие полностью совместимые (эквивалентные) модели знаний, предметные области и контексты, но различные цели. Такие агенты могут интерпретировать одни и тоже сообщения, и сам акт взаимодействия, принципиально по разному. Несовместимость целей агентов, в широком смысле – это, как правило, фундаментальное препятствие на пути их успешного взаимодействия.

В узком смысле, цель – это локальная необходимость организации конкретного сеанса взаимодействия (обмена сообщениями) между конкретными агентами. Основные узкие цели взаимодействия представлены в таблице 1.

Таблица 1. Классификация узких целей взаимодействия агентов

Типы целей агента	Описание цели
Информирование	Агент делится своими знаниями об складывающейся ситуации, окружающем мире, действиях других агентов
Запрос	Агент запрашивает другого агента поделится своими знаниями об складывающейся ситуации, окружающем мире, действиях других агентов
Призыв к действию	Агент запрашивает другого агента совершить какое-либо действие
Обязательство	Агент берет на себя обязательство выполнить какое-либо действие
Оповещение	Агент информирует о некотором своем внутреннем состоянии, или состоянии внутреннего процесса
Подтверждение	Агент подтверждает или опровергает полученное предложение от другого агента
Заявление	Выражает некоторые изменения в положении дел. Пример - заявление «агент А теперь отключен»

### 2.1.3. Предметная область

Данный атрибут соответствует передаче основной информации взаимодействия, при этом используемые понятия и термины должны находиться в общей для взаимодействующих агентов предметной области.

Совместимость понятий и знаний предметной области – это наличие одинаковых или эквивалентных определений понятий в предметных областях моделей знаний взаимодействующих агентов.

За последние десятилетия было проведено значительное количество исследований, направленных на изучение того, как люди общаются, используют язык, создают знания о мире, классифицируют известные и формируют новые понятия. На основе этих работ можно сделать вывод, что процессы формирования понятий и их семантических определений в каждой

конкретной предметной области могут быть строго формализованы. Такая формализация позволяет сформировать искусственные языки, в которых новые понятия вводятся путем объединения совокупности уже известных понятий и отношений между ними, на основе одного из подходов формирования моделей знаний (продукционный подход; «семантическая сеть»; фреймовый подход; логический подход; псевдофизический подход). Новые понятия должны обладать уникальностью и высокой частотой использования.

В настоящее время формирование новых понятий преимущественно основано на использовании языков онтологий, таких как RDF (Resource Description Framework – среда описания ресурса) и OWL (Web Ontology Language – сетевой язык онтологии). Компьютерное общество IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) приняло набор стандартов FIPA17, который включает семантику языка коммуникации агентов (ACL) – эквивалент для определения семантики для взаимодействия, с целевыми намерениями.

В целом на совместимость предметных областей агентов существенную роль оказывает лингвистическая совместимость. Более подробно лингвистическая совместимость, ее роль и особенности при обеспечении семантической интероперабельности будут рассмотрены в п. 2.4.1.

#### *2.1.4. Контекст*

Под контекстом понимаются дополнительные обстоятельства, сведения, факты, которые помогают правильно интерпретировать основную информацию, содержащуюся в сообщениях взаимодействующих агентов. Рассматривают следующие типы контекста:

- временной контекст;
- геопространственный контекст;
- ситуативный контекст;
- предметный контекст;
- дополнительная информация;
- мультиагентный контекст.

Более подробно содержание этих контекстов и их особенности будут рассмотрены далее в п. 3.

## ***2.2. Дополнительные особенности, влияющие на семантическую интероперабельность взаимодействия агентов***

### ***2.2.1. Лингвистическая совместимость взаимодействия ЧА–ЧА***

При взаимодействии ЧА–ЧА, где различные ЧА общаются на разных языках, возникает проблемная ситуация состоящая в том, что некоторые понятия не имеют эквивалентных понятий на другом иностранном языке. В результате требуется, чтобы эти понятия были представлены в виде сложных выражений. Даже в том случае, когда разные языки обладают сходными понятиями, они могут иметь отличные уровни семантической детализации или социальные ограничения в отношении использования и назначения. Следовательно, семантика, или интерпретация выражений в языке, зависит от дополнительных параметров взаимодействующих ЧА: культурного базиса, социального контекста, самого языка, национальности, образования, опыта и индивидуальных врожденных способностей, таких как интеллект, физические особенности речи, слуха, зрения, обоняния, осязания и т.д.

Хотя человеческий язык почти бесконечен в своей способности описывать сложные понятия, людям может потребоваться некоторое время, чтобы прийти к общему пониманию смысла употребляемых выражений. Если область взаимодействия ограничена, и большинство его участников имеют схожие цели и модели знаний в предметной области взаимодействия, то общее взаимопонимание – т.е. семантическая интероперабельность, может вполне быть достигнута. Но тонкие различия в моделях знаний приводят к тому, что сходные выражения имеют потенциально различные значения.

Особенностью семантического взаимодействия между людьми является то, что смысл сообщений, которыми ЧА обмениваются при взаимодействии, может быть различен на различных уровнях интерпретации. При этом первый уровень интерпретации смысла сообщений будет связан с выявлением смысла используемых понятий предметной области, а второй уровень интерпретации



будет основан на выявлении смысла сообщения в соответствии с культурным, политическим, религиозным и личным образованием и опытом. На втором уровне интерпретации смысл сообщения, не всегда сводится к интегральной свертке смысла отдельных понятий т.к. на этом уровне может проявляться двусмысленность сообщения, его скрытый смысл или эмоциональная окраска, с учетом контекста. При этом смысл сообщения, как результат такой двухуровневой интерпретации может отличаться в различных аспектах: отличаться в синтаксисе и грамматике выражений; отличаться эмоциональной окраской; отличаться с учетом опыта индивидов; отличаться в отражении восприятия частных ситуаций и окружающего мира в целом во внутренний мир каждого конкретного человека.

В связи с вышеуказанным, во избежание неверной интерпретации смысла сообщений, рекомендуется при семантическом взаимодействии ЧА–ЧА, перейти на формализованные формы (формуляры запрос/ответ) взаимодействия, по схеме:

<Цель, Предметная область, Контекст>.

Цель ЧА может быть связана с типом семантических интерпретаций, типичным для набора анализируемых семантических взаимодействий, например, запрос действия, обмен знаниями и т.д. Контекст может быть определен путем идентификации сообщества интересов, в то время как предметная область может быть связана с различными областями знаний для конкретной роли ЧА или его задачи в рамках сообщества интересов.

*2.2.2. Особенности использования терминов, понятий и знаний в специализированных предметных областях*

Этот аспект определяет насколько та или иная предметная область формирует свою замкнутую систему специализированных понятий и терминов, которые не являются с общими или эквивалентными для других предметных областей. Обычно специализированные термины вводятся при соответствующем характере работы, которой занимается какое-либо сообщество (медицинские работники, инженеры, юристы и т.д.). Термины и их

семантика развиваются, чтобы облегчить взаимопонимание при проведении исследований, разработок и операций в этой предметной области обладающей высокой степенью специализации. Конечно, специализация напрямую влияет на доступность, понятность и удобство использования информации из этой специализированной предметной области, со стороны других систем и пользователей.

Расширение глобальных знаний приводит, с одной стороны, к расширению возможностей естественных языков представлять сходные понятия с учетом социальных, политических и других влияющих ограничений, с другой стороны, к росту количества и сложности специализированных знаний в отдельных предметных областях. В этом случае отдельные сообщества интересов начинают создавать свои собственные словари и понятия для специализированных предметных областей, которые не могут быть правильно интерпретированы если не являются членом этого сообщества. Эти две противоположные тенденции (рис. 4), одна из которых усиливает повсеместное распространение знаний в результате глобализации, а другая уменьшает их семантическую доступность в результате специализации, влияет на способность людей достигать общего взаимопонимания.

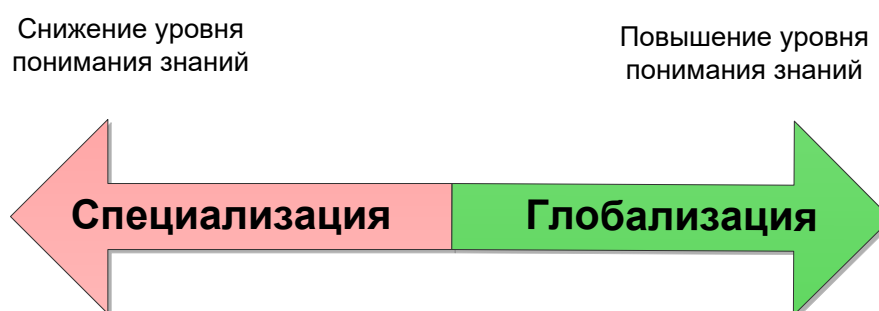


Рис. 4. Процессы глобализации и специализации знаний.

Крупные значимые сообщества должны тратить дополнительные ресурсы на то, чтобы их специализированные знания могли быть выражены в форме, доступной для понимания и интерпретации другим сообществами. Примером может служить сообщество медицинских работников, чья работа является

одной из самых важнейших для человеческого общества, однако взаимодействие в этом сообществе основано на большом количестве специализированных терминов и понятий, смысл которого фактически не интерпретируем обычными людьми. В результате врачи, как представители этого специализированного сообщества, выступают интерпретаторами терминов своей предметной области в термины, понятные другим людям. Однако в результате такой интерпретации знание упрощается и утрачивает часть своего смысла. В результате одно и то же специализированное знание существует как бы на двух уровнях интерпретации – профессиональном, где оно выражено в терминах специализированной предметной области и является гораздо более объективным, и упрощенно-бытовом – где это же знание, за счет его упрощения, становится доступным другим людям за пределами специализированной предметной области.

По мере специализации знания появляется уникальный набор специфических задач, специализированный набор предметных областей и контекстов, новые семантические модели понятий. В результате все меньше людей могут понять эти специализированные знания. Специализированное знание может стать более глобальным, например, за счет его повсеместной интеграции в учебные и образовательные программы. Всеобщее образование в развитых странах повысило уровень грамотности широких слоев населения и расширило отдельные специализированные знания (алгебра, геометрия, литература, биология, география и т.д.) до уровня всеобщих знаний, в то время как в прошлые века носителями этих знаний были узкие группы специалистов.

При использовании оценки уровня «специализированности» знаний сначала определяют пропорциональный размер оцениваемого сообщества по отношению к эталонному сообществу. Затем определяют, является ли знание специализированным или общим по отношению к оцениваемому сообществу. В результате уровень «специализированности» знаний должен соответствовать одному из четырех квадрантов (рис. 5):

- 1) глобальное сообщество – специализированные знания (глобально-специализированный квадрант);
- 2) малое сообщество – специализированные знания (малый специализированный квадрант);
- 3) глобальное сообщество – общие знания (глобально-общий квадрант);
- 4) малое сообщество – общие знания (малый общий квадрант).

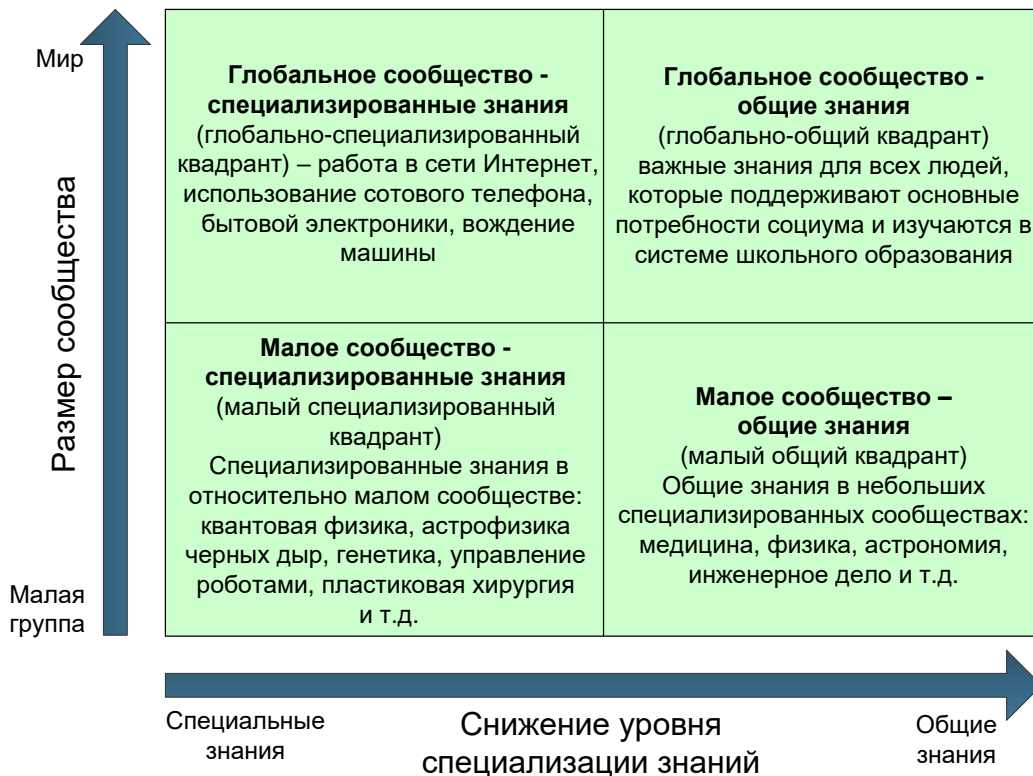


Рис. 5. Уровни специализированности знаний.

### 2.2.3. Особенности вербального (речевого) взаимодействия ЧА–ЧА

Как правило взаимодействие ЧА–ЧА имеет вербальную (речевую) форму. Сообщения при такой форме взаимодействия представляют собой набор высказываний, которые выражают цель, основную информацию и контекст, указывающий на то, как интерпретировать высказывание.

Каждое речевое взаимодействие имеет несколько составляющих (рис. 6):

- локативный компонент (locutory component) – это материальное выражение речевой формы высказывания, например, звуковые волны, радиоволны, текстовые сообщения, символы и т.д.;

- иллокутивный компонент (illocutory component) – прагматический компонент смысла высказывания, отражающий коммуникативную цель говорящего;
- перлокутивный компонент (perlocutory component) определяет воздействие иллокутивного акта на состояние адресата, т.е. служит намеренному воздействию на адресата, достижению какого-либо определенного результата.

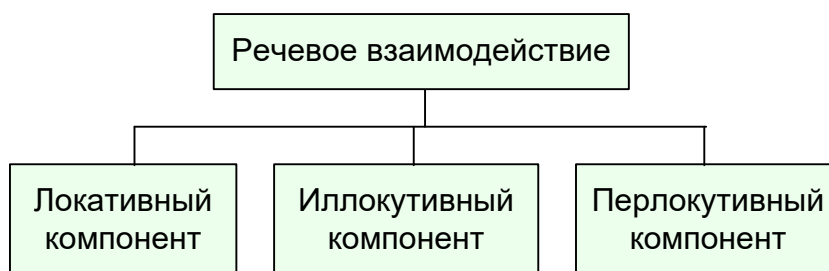


Рис. 6. Составляющие речевого взаимодействия.

Обычно в технических и человеко-машинных системах типы речевых выражений используются там где необходимо сигнализировать человеку-оператору о тех или иных ситуациях требующих его внимания или принятия решения.

Как правило суть сообщения передается в иллокутивном компоненте, в котором используются понятия, из предметной области, общей для взаимодействующих агентов. Однако для лучшей интерпретации смысла иллокутивного компонента, необходимо знать цель говорящего т.е. перлокутивный компонент.

Таким образом, чтобы обеспечить правильную семантическую интерпретацию речевого высказывания при взаимодействии между агентами любого типа, агентам также необходимо знать иллокутивный и перлокутивный компоненты сообщения, представленного в локативной форме.

### 3. Контекстные параметры взаимодействия

Под контекстом понимаются обстоятельства, от которых зависит восприятие информации; совокупность фактов и обстоятельств, в окружении которых происходит какое-либо событие, существует какое-либо явление, какой-либо объект.

В состав контекста включается дополнительная информация, помогающая правильно интерпретировать основную информацию, содержащуюся в сообщениях взаимодействующих агентов (рис. 7):

- *временной контекст* – сведения: о временных параметрах взаимодействия; о времени или длительности чего-либо, упоминаемого в сообщении;
- *геопространственный контекст* – сведения: о местоположении агентов или описываемых событий; о местоположении субъекта и объекта сообщения; пространственных параметрах взаимодействия т.д.;
- *ситуативный контекст* – сведения о ситуации в которой происходит взаимодействие или ситуации, которая обуславливает необходимость взаимодействия, сведения о состоянии окружающей среды, состоянии других агентов и т.д.;
- *предметный контекст* – дополнительные термины, понятия или знания, объекты предметной области, которыми необходимо дополнить модель знаний агента, чтобы правильно интерпретировать основную информацию. При взаимодействии ЧА–ЧА в состав этого контекста могут включаться дополнительные сведения о культурных, политических, социальных, психологических, лингвистических, национальных, религиозных и других особенностях взаимодействующих ЧА, позволяющих улучшить интерпретацию основной информации;
- *дополнительная информация* – сведения, которые позволяют более правильно интерпретировать основную информацию: эмоциональный окрас; обстоятельства формирования информации; характеристики достоверности, полноты, оперативности сообщаемой информации;

целесообразные действия в сложившихся условиях, необходимость запроса дополнительных и уточняющих сведений; данные о форме представления основной информации (аудио, видео, символьные сообщения) и т.д.;

- *мультиагентный контекст* – сведения о роли и месте агентов, осуществляющих взаимодействие в общей системе, состояния их подчиненности, совместимости целей и ролей, информация о возможностях агентов и отношениях сотрудничества между ними и пр.

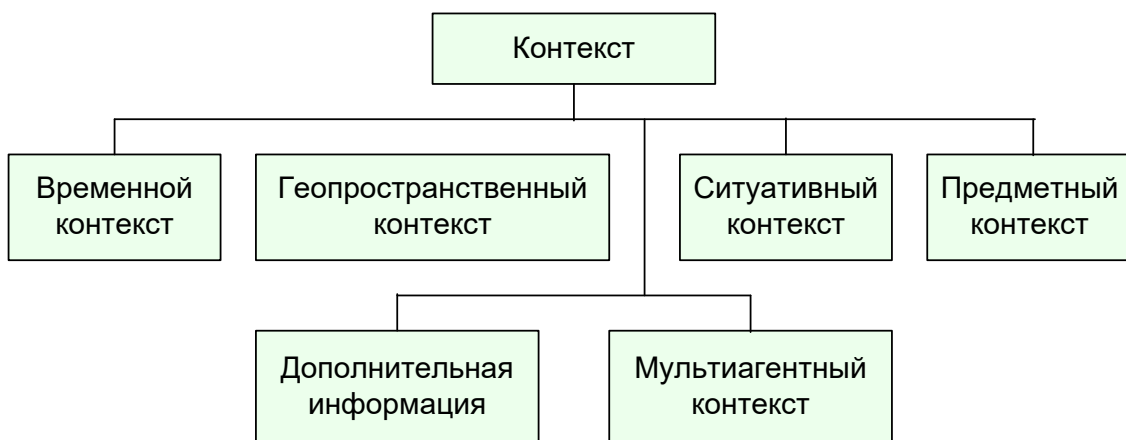


Рис. 7. Типы контекста.

Принципиально важным при взаимодействии являются временной и геопространственный контекст. Наличие меток времени и пространственных метаданных позволяет интерпретировать сообщения в привязке к развитию ситуации, а также действиям отдельных агентов как во времени, так и в пространстве. Наличие временного контекста принципиально важно для синхронизации действий различных агентов при решении совместной задачи или достижении общей цели.

Ситуативный контекст, позволят агентам обмениваться информацией об окружающей среде, состоянии других агентов, состоянии системы, а в случае отсутствия такой информации – запрашивать ее у других агентов, которые могут располагать ею. Наличие ситуативного контекста позволяет агентам «быть в курсе» окружающих событий, и даже если эти события явно не

относятся к данному агенту, все равно интерпретировать поступающие сообщения, с учетом складывающейся обстановки как внутри системы, так и в окружающей среде.

Мультиагентный контекст, в иерархических системах позволяет агентам четко интерпретировать свое место и роль в иерархии подчиненности, агентов имеющих право затребовать информацию и отдать распоряжения о тех или иных действиях, а также подчиненных агентов, силы и средства которых можно задействовать при решении поставленной задачи. В сетевых и сетецентрических системах мультиагентный контекст позволяет самоорганизовываться агентам, образуя динамические группы для выполнения той или иной поставленной задачи, координировать свои действия в интересах достижения общей цели, делиться ресурсами, а также гибко менять иерархию подчиненности.

В настоящее время для ТА нет стандартов контекста, но прилагаются усилия по формированию контекстных теорий и установлению влияния контекста на формирование моделей знаний, интерпретацию целей и понятий предметной области. В общем случае контекст формализуется в виде метаданных сообщения – служебных или дополнительных данных, описывающих характеристики основной информации, передаваемой в сообщении.

В настоящее время метаданные получили широкое распространение как служебные данные или указатели при организации процедур формирования, поиска, передачи, хранения, обработки и представления данных из информационных ресурсов. Проблема единообразного формирования метаданных для различных типов документов была решена за счет внедрения языка разметки Extensible Markup Language (XML), что позволило создать информационные ресурсы, способные обмениваться элементами данных друг с другом.

Автоматизацию и стандартизацию формирования и распознавания контекста при взаимодействии агентов на семантическом уровне



интероперабельности предполагалось осуществить с использованием схем данных XML с семантическими определениями [35]. Этот подход предполагал совместное использование элементов контекста (временной контекст, геопространственный контекст, ситуативный контекст и т.д.) в виде метаданных сообщений с использованием синтаксиса XML. Однако было быстро обнаружено, что использование только языка разметки XML не достаточно для адекватного и полного формирования контекста, поскольку семантические определения элементов данных XML находятся в форме документа, не представлены явно, а также не используются совместно между системами, что приводит к возможности ошибок в семантических интерпретациях контекста различными агентами. Как показано в работе [35] несмотря на то, что наличие синтаксиса XML для элементов контекста помогло обеспечить формирование общих контекстных меток для основных данных сообщения, однако даже введение схем контекста с определенной структурой и моделями контекста, основанных на известных типах моделей знаний (продукционная тип, тип «семантическая сеть», фреймовый тип и т.д.) оказалось недостаточным для адекватной передачи всех тонких нюансов, влияющих на правильную семантическую интерпретацию сообщений. Особенно это касалось вопросов формализации культурных, политических, социальных, психологических, лингвистических, национальных, религиозных и других аналогических параметров в контексте взаимодействия ЧА–КА и КА–КА.

## **Заключение**

Обобщая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Одним из основных уровней, составляющих интероперабельность в соответствии с ГОСТ Р 55062-2012, служит уровень семантической интероперабельности.
2. Процесс взаимодействия на семантическом уровне можно представить на основе мультиагентного подхода, при котором система представляется в виде множества агентов различных типов: агентов-людей и технических

когнитивных агентов. При этом семантика их взаимодействия между собой определяется в виде тройки <Цель агентов, Предметная область, Контекст>, а в интерпретации этой тройки каждым агентом задействуется его модель знаний.

3. Предлагаемый подход к описанию и формализации взаимодействия на семантическом уровне целесообразно использовать при разработке проекта ГОСТ Р «Информационные технологии. Сетецентрические информационно-управляющие системы. Интероперабельность».
4. Хотя рассмотренный подход предложен в приложении к сетецентрической системе, он, по мнению авторов, может быть с успехом применен и для информационных систем других типов.

Данное исследование проводится в рамках проекта РФФИ № 19-07-00774.

### Литература

1. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. *Systems and software engineering. Vocabulary*. ISO, 2017. 522 p.
2. ГОСТ Р 55062-2012. *Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения*. Москва, Стандартинформ, 2014. 12 с.
3. Козлов С.В., Макаренко С.И., Олейников А.Я., Растягаев Д.В., Черницкая Т.Е. Проблема интероперабельности в сетецентрических системах управления. *Журнал радиоэлектроники*. 2019. №12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.12.4>
4. 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.

5. Трубникова Е.И. Стратегии интероперабельности продукции в условиях интеграции производителей. *Вестник Самарского государственного экономического университета*. 2010. №12(74). С.84-89.
6. Черницкая Т. Е., Макаренко С. И., Растягаев Д. В. Аспекты информационной безопасности в рамках оценки интероперабельности сетевых информационных-управляющих систем. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2020. №4. С.113-121. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.20.04.P.113>
7. Макаренко С.И., Олейников А.Я, Черницкая Т.Е. Модели интероперабельности информационных систем. *Системы управления, связи и безопасности*. 2019. №4. С.215-245. <https://doi.org/10.24411/2410-9916-2019-10408>
8. Маслобоев А.В. Средства поддержки интероперабельности сетевых систем управления региональной безопасностью. *Надежность и качество сложных систем*. 2020. №1(29). С.91-105. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2020-1-11>
9. Маслобоев А.В. Проблемы и технологии обеспечения интероперабельности информационных систем региональных ситуационных центров. *Информационно-технологический вестник*. 2020. №2(24). С.107-119.
10. Аристов А.В. Обеспечение интероперабельности систем формирования стандартизированных профилей. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2015. Т.11. №4. С.40-43.
11. Аникин Д.В. Критерии оценки применения интероперабельности, заданные условиями принятия решения. *Вестник МГСУ*. 2013. №10. С.249-257.
12. Мальшаков Г. В. Комплекс программ достижения интероперабельности прикладного программного обеспечения. *XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*. 2019. Т.8. №4(48). С.83-88.
13. Гришенцев А. Ю., Коробейников А. Г., Дукельский К. В. Метод численной оценки технической интероперабельности. *Кибернетика и*

программирование. 2017. №3. С.23-38. <https://doi.org/10.25136/2306-4196.2017.3.23540>

14. Гришенцев А. Ю., Коробейников А. Г. Средства интероперабельности в распределенных геоинформационных системах. *Журнал радиоэлектроники*. 2015. №3. <http://jre.cplire.ru/win/mar15/7/text.pdf> (дата доступа: 21.01.2020).
15. 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. <http://jre.cplire.ru/jre/dec14/16/text.html> (дата доступа: 21.01.2020).
16. 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. <http://jre.cplire.ru/jre/mar12/2/text.pdf> (дата обращения 21.01.2020).
17. Башлыкова А.А., Козлов С.В., Макаренко С.И., Олейников А.Я., Фомин И.А. Подход к обеспечению интероперабельности в сетевых системах управления. *Журнал радиоэлектроники*. 2020. №6. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.6.13>
18. Черницкая Т.Е., Макаренко С.И., Растягаев Д.В. Аспекты автоматизации функций управления, принятия решений и сетевого взаимодействия в рамках оценки интероперабельности сетевых информационных управляющих систем. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2020. №3. С.138-145. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.20.03.P.138>
19. Олейников А.Я., Растягаев Д.В., Фомин И.А. Основные положения концепции обеспечения интероперабельности сетевых информационных управляющих систем. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2020. №3. С.122-131. <https://doi.org/10.25586/RNU.V9187.20.03.P.122>

20. Олейников А.Я. Актуальное состояние проблемы интероперабельности. *ИТ-Стандарт*. 2020. №2(23). С.37-42.
21. Козлов С.В. Научно-методические проблемы обеспечения интероперабельности сетевых систем на основе комплексного применения методов процессного и проектного управления. *ИТ-Стандарт*. 2020. №1(22). С.17-24.
22. Козлов С.В., Кубанков А.Н. Процессные основы интеграции и комплексного развития информационных, управляющих, роботизированных, телекоммуникационных систем. *Научные технологии в космических исследованиях Земли*. 2020. Т.12. №1. С.23-31. <https://doi.org/10.36724/2409-5419-2020-12-1-23-31>
23. Башлыкова А.А., Зацаринный А.А., Каменщиков А.А., Козлов С.В., Олейников А.Я., Чусов И.И. Интероперабельность как научно-методическая и нормативная основа бесшовной интеграции информационно-телекоммуникационных систем. *Системы и средства информатики*. 2018. Т.28. №4. С.61-72. <https://doi.org/10.14357/08696527180407>
24. Макаренко С.И., Черницкая Т.Е. Аспекты совместимости сетевых протоколов, интерфейсов и требований по качеству обслуживания в рамках оценки интероперабельности сетевых систем. *Журнал радиоэлектроники*. 2020. № 10. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.10.4>
25. Куприянов А.А. Аспекты интероперабельности автоматизированных систем. *Автоматизация процессов управления*. 2009. №4. С.40-49.
26. Куприянов А. А. Сетевые военные действия и вопросы интероперабельности автоматизированных систем. *Автоматизация процессов управления*. 2011. №3. С.82-97.
27. Осипенков М.Н., Узьяев И.Н. Основные проблемы достижения интероперабельности информационных систем органов государственного и военного управления при решении задач обороны. *Военная мысль*. 2020. №5. С.143-149.

28. Каменщиков А.А., Олейников А.Я., Чусов И.И., Широбокова Т.Д. Проблема интероперабельности в информационных системах военного назначения. *Журнал радиоэлектроники*. 2016. №11. <http://jre.cplire.ru/jre/nov16/8/text.pdf> (дата доступа: 26.01.2021).
29. Башлыкова А.А., Олейников А.Я. Интероперабельность и информационное противоборство в военной сфере. *Журнал радиоэлектроники*. 2016. №12. С.14. <http://jre.cplire.ru/jre/dec16/14/text.pdf> (дата доступа: 26.01.2021).
30. Башлыкова А.А., Каменщиков А.А., Олейников А.Я. Обеспечение интероперабельности как средства бесшовной интеграции функциональных подсистем в составе перспективных автоматизированных систем военного назначения. *Журнал радиоэлектроники*. 2018. №9. С.18. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2018.9.11>
31. Тарасов Б.В., Ионов С.В., Глумова А.А. Семантическая интероперабельность разнородной информации. *Информатизация и связь*. 2020. №6. С.79-82.
32. Акаткин Ю.М., Ясиновская Е.Д. *Цифровая трансформация государственного управления: Датацентричность и семантическая интероперабельность*. Под ред. Конявского В.А. Москва, ЛЕНАНД. 2019. 724 с. <https://urss.ru/elib/249005/#> (дата доступа: 21.10.2019).
33. Павлыгин Э.Д., Корсунский А.С., Куприянов А.А., Мельниченко А.С. FСMI-подход к оценке интероперабельности интегрированной системы боевого управления корабля. *Автоматизация процессов управления*. 2015. №4(42). С.4-14.
34. Кашевник А.М. Подход к обеспечению семантической интероперабельности мобильных роботов при формировании коалиций. *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2017. №1. С.90-100.
35. *Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0*. NCOIC, 2008. 154 p.

36. Макаренко С.И., Соловьева О.С. Основные положения концепции семантической интероперабельности сетевых систем. *Журнал радиоэлектроники*. 2021. №4. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.10>
37. Макаренко С.И. О некоторых параметрах поиска и обработки информации при обеспечении технической интероперабельности сетевых систем. *Журнал радиоэлектроники*. 2021. №3. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.3.5>
38. Макаренко С.И. *Справочник научных терминов и обозначений*. СПб., Научно-технические технологии. 2019. 254 с.
39. Макаренко С.И. *Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие*. Ставрополь, СФ МГГУ им. М. А. Шолохова. 2009. 206 с.

**Для цитирования:**

Макаренко С.И., Соловьева О.С. Семантическая интероперабельность взаимодействия элементов в сетевых системах. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №6. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.6.3>