

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.10>

УДК 004.82

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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 19 апреля 2021 г.

**Аннотация.** В условиях перехода информационно-управляющих систем к сетецентрической архитектуре и созданию сетецентрических информационно-управляющих систем (СЦИУС) возрастает актуальность обеспечения интероперабельности в таких системах. В соответствии с ГОСТ Р 55062-2012 интероперабельность обеспечивается на трех уровнях: техническом, семантическом и организационном. В статье на основе мультиагентного подхода и SCOPE-модели (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model for Interoperability Assessment) предложены основные положения концепции семантической интероперабельности СЦИУС. Особенностью этой концепции является то, что взаимодействие в организационно-технических сетецентрических системах формализуется на основе агентов различных типов: агентов-людей, технических когнитивных агентов и технических реактивных агентов. При этом семантика их взаимодействия между собой определяется целями агентов, предметной областью взаимодействия и контекстом. Данное исследование проводится в рамках проекта РФФИ № 19-07-00774.

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

**Abstract.** In the situation of transition from information and control systems to a net-centric architecture and development of net-centric information and control system,

the relevance of interoperability assurance in such systems is increasing. Interoperability have to be provided at three levels: technical, semantic and organizational in accordance with Russia's state standard no. 55062-2012. Main thesis of the semantic interoperability concept are proposed in this paper on basis of a multi-agent approach and a systems, capabilities, operations, programs, and enterprises model for interoperability assessment. The peculiarity of this concept is that interaction on the semantic level in net-centric systems is formalized on basis of various types of agents: human agents, technical cognitive agents and technical reactive agents. At the same time, the semantics of agents interactions with each other is determined by goals of the agents, subject area of interaction and context. 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 семантической интероперабельности информационных систем несравненно меньше. К основным из них стоит отнести работы [31-34], при этом, в данное время, теоретическое обобщение различных аспектов семантической интероперабельности в рамках единой концепции не проводилось. В работе [35] представлена обобщенная модель интероперабельности, 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 адаптации к эталонной модели, представленной в ГОСТ Р 55062-2012. При этом одним из важнейших вопросов достижения интероперабельности в целом, является обеспечение именно семантической интероперабельности, теоретическим базисом которой является концепция семантической интероперабельности.

Таким образом, целью данной статьи является формирование концепции семантической интероперабельности. 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]. Данное исследование продолжает и развивает ранее опубликованные работы авторов [3, 6, 7, 17, 18, 24, 35].

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

Вопросы относящихся 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.

*Взаимодействие* – процессы воздействия различных объектов друг на

друг посредством обмена информацией.

*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 [37]. В обобщенном виде можно записать: «знания» = «информация» + «цель».

*Данные* – поддающееся многократной интерпретации представление информации в формализованной знаково-символьной форме, пригодной для сбора, хранения, передачи, обработки или представления в информационных системах [37].

*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 [37].

*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 [37]. В обобщенном виде можно записать: «информация» = «данные» + «смысл».

*Интеллектуальная функция* – одна или совокупность нескольких функций, выполнение которых традиционно считаются прерогативой человека, а именно: осознание новых ситуаций; обучение и запоминание на основе предыдущего опыта; понимание и применение абстрактных концепций; познание и формирование знаний; использование знаний для решения проблем и управления окружающей средой.

*Когнитивная обработка* – процесс преобразования информации в знания, путем ее агрегирования, интерпретации, логико-семантической верификации и встраивания в существующую модель знаний.

*Когнитивность* – способность к восприятию информации и ее интерпретации [37].

*Когнитивный агент* – 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 [37].

*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 [37].

*Проектирующий агент* – агент, создающий набор реактивных агентов и типовые способы их взаимодействия, а также реакции на поступающую информацию. Эти набор и способы взаимодействия в дальнейшем используются другими разработчиками для формирования собственных агентов [35].

*Реактивный агент* – технический агент, который в отличие от когнитивного агента, не обладает способностью воспринимать информацию и интерпретировать ее, не имеет внутренней модели знаний, а при поступлении входной информации выдает на выходе некоторую типовую реакцию, заложенную в него проектирующим агентом [35].

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

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

*Сообщение* – конечный набор данных, содержащий информацию о каком-

либо отдельном факте, явлении или событии, который является базовой семантически-неделимой частью процесса передачи информации.

*Смысл* – сущность, внутренне 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.

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

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

*Шаблон* – эффективный способ решения или действия при решении какой-либо типовой задачи.

*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 [37].

*Цель* – идеальное, мысленное предвосхищение результата деятельности, зависящее от объективных законов действительности, реальных возможностей субъекта и применяемых им средств для ее достижения [37].

## 2. Классификация агентов взаимодействия

Для описания взаимодействия на семантическом уровне интероперабельности, используем мультиагентный подход. Для этого введем следующие категории агентов, взаимодействующих на семантическом уровне [35] (рис. 1):

- *человек-агент* (ЧА) – является лицом, принимающим решение (ЛПР), человеком-оператором некоторой технической системы, либо пользователя информационной системы, выполняющим те интеллектуальные функции, которые не могут быть автоматизированы. Действия и реакции ЧА

- определяются интеллектом и моделью знаний, существующих внутри него;
- *технический агент* (ТА) – является технической системой, реализованной в виде механической, автоматной, электронной, аппаратной, программной или робототехнической системы, выполняющей автоматические и автоматизированные функции. Технические агенты делятся на когнитивные агенты и реактивные агенты;
  - *когнитивный-агент* (КА) – является технической системой, в которой реализована собственная модель знаний и система интеллектуальных функций, в том числе функций взаимодействия. Как правило, КА реализуются в виде электронной, аппаратно-программной или робототехнической системы, выполняющей интеллектуальные функции в рассматриваемой организационно-технической системе;
  - *реактивный агент* (РА) – является технической системой, в которой отсутствует собственная модель знаний, а взаимодействие с таким типов агентов формируется на основе некоторого набора выходных реакций, которые зависят от входных данных и состояния системы. Как правило, РА реализуются в виде механической или автоматной системы, выполняющей простейшие неинтеллектуальные функции;
  - *проектирующий агент* (ПА) – агент, который может представлять собой как ЧА, так и КА, создающий множество РА и задающий типовые способы их взаимодействия, а также реакции на поступающую информацию. Эти набор и способы взаимодействия в дальнейшем используются другими разработчиками для формирования собственных агентов.

### **3. Описание семантического взаимодействия агентов**

Схема семантического взаимодействия агентов на семантическом уровне интероперабельности, представлена на рис. 2. Данная схема, в самом обобщенном виде, описывает процесс взаимодействия агентов, их способность достигать единообразия в интерпретации информации, с учетом их целей и контекста взаимодействия.

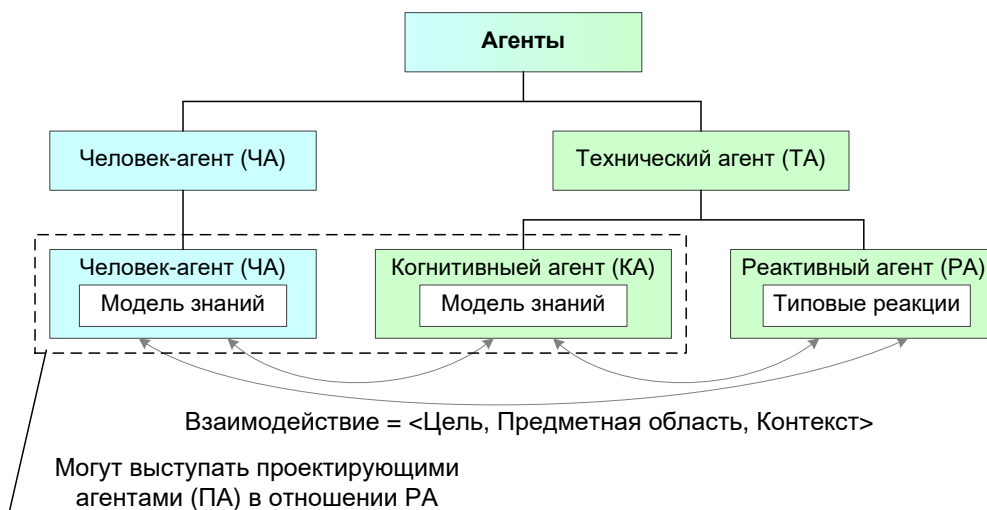


Рис. 1. Классификация агентов в концепции семантической интероперабельности.

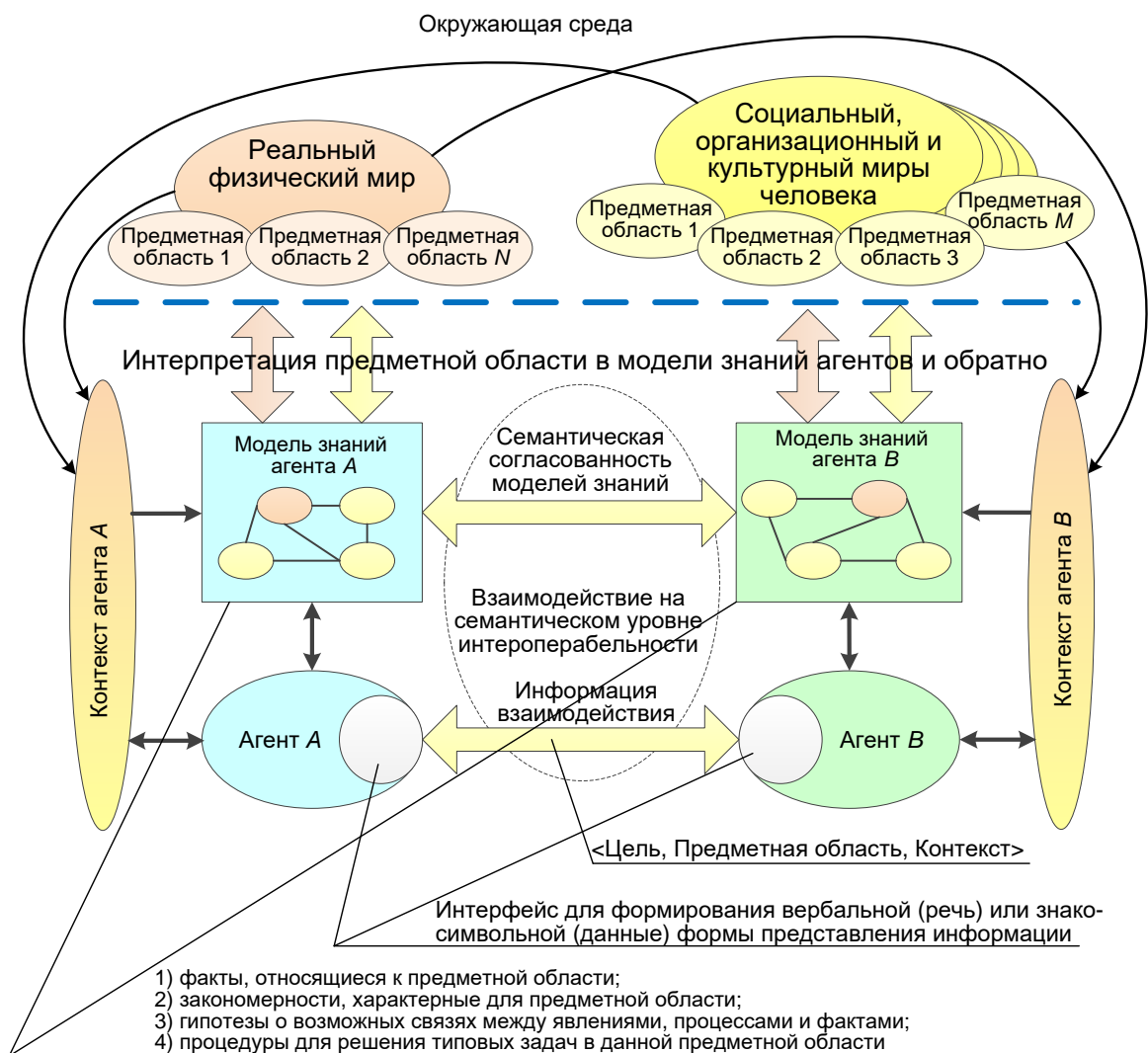


Рис. 2. Схема, семантического взаимодействия агентов в рамках семантического уровня интероперабельности.



При построении схемы взаимодействия на сетевом уровне интероперабельности, целесообразно руководствоваться следующими основными принципами.

1) Взаимодействующие объекты на семантическом уровне представляются в виде агентов. Агенты являются равноправными элементами информационной системы. Каждый агент может быть классифицирован либо как ЧА, либо как технический агент ТА. Каждый агент определяется следующей совокупностью параметров:

- моделью знаний агента;
- целью взаимодействия;
- предметной областью взаимодействия;
- контекстом взаимодействия.

2) Каждый ЧА при взаимодействии с другими ЧА представляет информацию взаимодействия либо в вербальной форме (речь), либо в знаково-символьной форме (данные), понятной другим людям. При взаимодействии ЧА с ТА информация взаимодействия, в подавляющем большинстве случаев, представляется только в виде данных. Либо такие данные извлекаются ТА из вербальной (речевой) информации, поступающей от ЧА, с использованием логики функционирования входного интерфейса ТА.

3) Каждый ЧА, как участник взаимодействия, формирует свою собственную модель знаний, как совокупность знаний о физическом и социальном мире, которые постоянно развиваются в результате взаимодействия как с реальным физическим миром, так и социальными мирами других людей.

4) Каждый ТА формирует свою модель знаний, как производную от модели знаний ЧА и человеческих инженерных процессов, при этом конечные семантические представления в модели знаний ТА имеют знаково-символьную форму – данные, которые проходят через множественные изменения, в процессе их формирования, передачи, хранения, обработки, взаимодействию с ЧА в информационной системе.

5) Вся совокупность знаний может быть разделена на предметные области, где понятия, факты, явления этой области представлены в соответствии с их собственными моделями знаний и лексикой.

6) Контекст взаимодействия обеспечивает оценку ситуации в плане применения и релевантности знаний конкретной предметной области для определённой цели, например, он может включать знания о целях, ролях и возможностях агента, ключевых аспектах текущей ситуации и т. д. Контекст также определяет уровень детализации, необходимый для достижения цели, уточняет намерение агента в отношении использования знаний предметной области. Общий контекст между агентами может способствовать правильной интерпретации информации, которой обмениваются агенты.

7) Семантическая интероперабельность между агентами может быть основана на определении семантического взаимодействия, состоящего из трех основных элементов:

Взаимодействие = <Цель, Предметная область, Контекст>.

8) Дополнительно ТА могут быть классифицированы как КА или РА. Каждый из этих типов агентов обладает различными исходными возможностями для обработки информации взаимодействия в виде тройки <цель, предметная область, контекст>, при этом степень обработки зависит от того, является ли интерпретация этих элементов явной, в соответствии с внутренней моделью знаний (для КА), или же неявной, проявляющейся только в типовых реакциях агента (для РА).

В рамках схемы, представленной на рис. 2, можно выделить основные параметры, определяющие взаимодействие агентов. Эти основные параметры и их возможные значения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры, определяющие взаимодействие агентов на семантическом уровне интероперабельности

Параметр	Значения параметра
Знания о физических параметрах окружающей среды	1) известны и определены как константы; 2) известны и изменчивы; 3) не определены.
Знания о социально-психологических параметрах окружающей среды	1) известны и определены как константы; 2) известны и изменчивы; 3) не определены.
Классификация взаимодействующих агентов	1) известны и определены как константы; 2) известны и изменчивы; 3) не определены.
Классификация типов взаимодействия агентов	1) известны и определены как константы; 2) известны и изменчивы; 3) не определены.
Состояние агента и его контекст: цели, возможности, состояние окружающей среды, логика принятия решений, социальные и организационные роли и т.д.	1) известны и определены как константы; 2) известны и изменчивы; 3) не определены.
Знания агента в различных предметных областях	1) известны и определены как константы; 2) известны и изменчивы; 3) не определены.
Цели агента, выражаемые в вербальной или знаково-символьной форме	1) известны и определены как константы; 2) известны и изменчивы; 3) не определены.

Достижение семантической интероперабельности в соответствии с тройкой параметров <Цель, Предметная область, Контекст> предполагает одновременного достижения:

- согласованности целей взаимодействующих агентов, либо, как минимум, согласованности их намерений;
- совместимости знаний в предметной области в которой осуществляется взаимодействие. Лингвистическая, знаково-символьная (для данных) и вербальная (для речи) совместимость сообщений, которыми обмениваются агенты;
- согласованности контекстов взаимодействия, либо, как минимум, возможность одного агента правильно интерпретировать контекст другого агента.

#### **4. Особенности взаимодействия технических агентов различных типов**

Опуская из рассмотрения вопросы взаимодействия ЧА и переходя к анализу взаимодействия ТА, возможно сформулировать три типовых варианта их взаимодействия:

- взаимодействие когнитивных агентов (взаимодействие КА-КА);
- взаимодействие когнитивного агента с реактивным агентом (взаимодействие КА-РА);
- взаимодействие реактивных агентов (взаимодействие РА-РА).

Рассмотрим эти типовые варианты более подробно.

##### ***4.1 Взаимодействие когнитивных агентов***

При взаимодействии КА-КА, каждый из агентов активно задействует свою внутреннюю модель знаний и аппарат когнитивной обработки данных для интерпретации тройки: <Цель, Предметная область, Контекст>. Семантическая интероперабельность во взаимодействии КА-КА обеспечивается до тех пор, пока цели агентов совпадают, предметная область и контекст взаимодействия совместимы между собой, а также пока при передаче данных используется сообщения, обладающие лингвистической совместимостью. Схема шаблона взаимодействия КА-КА представлена на рис. 3.

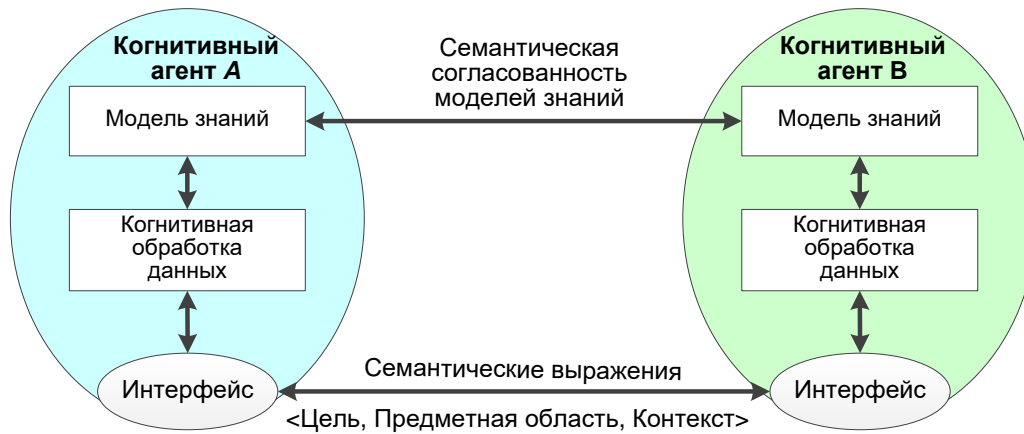


Рис. 3. Шаблон взаимодействия КА-КА.

Определим особенности параметры тройки семантического взаимодействия <Цель, Предметная область, Контекст>, а также особенности функционирования внутренних элементов агента (модель знаний, когнитивная обработка данных, интерфейс), характерные для шаблона взаимодействия КА-КА.

*Цель:* семантическая интерпретация цели КА должны совпадать, либо быть различными, но на этапе организации взаимодействия КА могут быть полезными друг другу в достижении своих целей. Совместимость по целям, может быть согласована в определенном контексте.

*Предметная область:* каждый КА может участвовать в взаимодействии с другими КА, состоящими в различных сообществах интересов, при этом каждое такое сообщество соответствует определенной предметной области. Модели предметной области в модели знаний каждого КА содержат специфические знания, факты, терминологию, которые используются для формирования поведения КА и интерпретации смысла семантических выражений в этой области. Модели предметной области в составе модели знаний КА обычно обновляются через взаимодействие с другими агентами и с окружающей средой.

*Контекст:* при реализации одного и того же взаимодействия, его контекст в плане места, времени, обстоятельств взаимодействия может быть различным. Более того один и тоже КА в зависимости от изменения контекста

может вести себя в соответствии с различными ролями, иметь разные возможности, предположения о требованиях к взаимодействию и другие контекстные предположения, ограничивающие семантическую интерпретацию взаимодействия. Для ЧА контекст является частью общей организационной и социальной модели, в то время как для ТА контекст может быть либо неявным (неопределённым), либо явным, задаваемым через контекстные модели, реализующие обработку семантических выражений и их интерпретацию в модель знаний агента с учетом контекста.

*Интерфейс КА и когнитивная обработка данных:* семантические выражения, которыми обмениваются КА должны быть лингвистически совместимы. Если КА обмениваются не данными, а вербальными (речевыми) сообщениями то, когнитивная обработка данных должна предусматривать функции распознавания речи. Язык и семантические выражения, используемые для взаимодействия между КА, интерпретируется каждым агентом в блоке когнитивной обработки, а результаты обработки передаются во внутреннюю модель знаний. Семантические выражения, должны иметь тесную семантическую связь с языком, используемым для представления знаний во внутренней модели. Язык разных КА не обязательно должен быть одинаковым, но сообщения на разных языках он должен быть однозначно семантически интерпретируемыми за счет когнитивной обработки в модель знаний.

Семантическая интероперабельность при взаимодействии КА-КА может принимать следующие значения:

- семантическая совместимость между КА достигнута;
- семантическая совместимость между КА не достигнута.

#### ***4.2 Взаимодействие когнитивного агента с реактивным агентом***

При взаимодействии КА-РА, КА обладающий более «продвинутым» интеллектом должен взять на себя функции оценки, прогнозирования отклика от РА в виде типовых реакций типа «входная информация – реакция», а также преобразования своих, более сложных сообщений в более простые, которые могут интерпретироваться РА. Для прогнозирования отклика от РА и

адаптации своих сообщений, КА должен задействовать свою модель знаний. Таким образом КА в отношении РА является своеобразным ПА. Как правило, семантика взаимодействий и реакции РА определяется ПА, где семантика РА в виде «входная информация – реакция» обычно представлены в виде документации на РА. Схема шаблона взаимодействия КА-КА представлена на рис. 4.

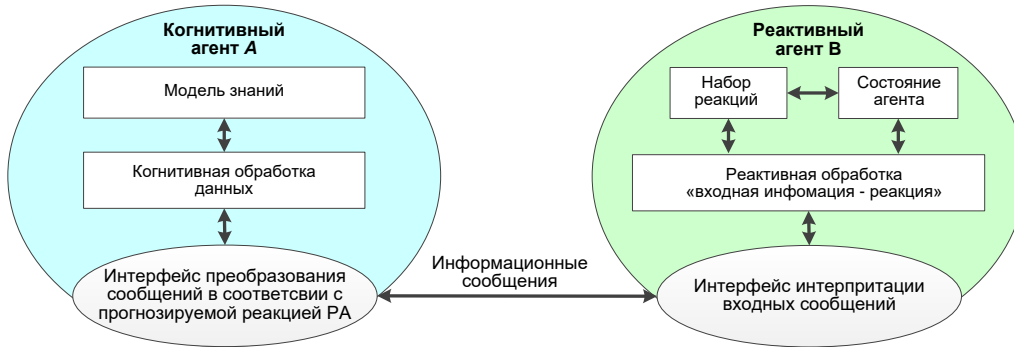


Рис. 4. Шаблон взаимодействия КА-РА.

Определим особенности параметров тройки семантического взаимодействия <Цель, Предметная область, Контекст>, а также особенности функционирования внутренних элементов РА и КА, характерные для шаблона взаимодействия КА-РА.

*Цель:* цель взаимодействия КА-РА полностью определяются и подчиненно цели КА. КА формирует входную информацию и отклик от РА таким образом, чтобы приблизить достижение своей цели. У РА нет какой-либо своей цели, и цель взаимодействия каждый раз определяется целью того КА с которым сейчас взаимодействует РА.

*Предметная область:* КА, организуя взаимодействие с РА, должен в своей модели знаний в конкретной предметной области, предполагать реакции РА и формировать входные сообщения для РА таким образом, чтобы обеспечить его необходимую реакцию. Как правило, РА реализует какую-то определенную функцию или выдачу реакций в одной или в нескольких смежных предметных областях.

*Контекст:* КА организуя взаимодействие с РА должен учитывать контекст взаимодействия, как со стороны КА, так и со стороны РА. Как правило, РА для КА не может формировать каких-либо расширенных данных о контексте взаимодействия, кроме самых простейших, которые могут быть определены техническими датчиками: время, место, физические параметры окружающей среды (температура, освещенность, скорость движения агентов и т.д.).

*Реактивная обработка «входная информация – реакция» в РА:* поведение РА не диктуется моделью знания, как в КА, а основано на наборе типовых реакций и собственном состоянии, которые задаются ПА, которые используются РА для определения своих действий.

*Интерфейс РА:* Каждый РА может реагировать только на свой конечный набор сообщений на своем интерфейсе. Каждое сообщение в составе входной информации соответствует определенной реакции РА, в зависимости от его состояния. Сообщения, формируемые КА, должны быть лингвистически и семантически адаптированы к интерфейсу РА.

Семантическая интероперабельность при взаимодействии КА-РА может принимать следующие значения:

- двухсторонняя семантическая совместимость между КА-РА достигнута;
- односторонняя семантическая совместимость между КА-РА достигнута (при этом семантическое взаимодействие по обратному каналу РА-КА не требуется);
- семантическая совместимость между КА-РА не достигнута.

#### **4.3 Взаимодействие реактивных агентов**

При взаимодействии РА-РА, единственным объектом, задающим логику взаимодействия РА между собой является ПА. ПА закладывает в каждого РА свой собственный набор состояний и набор реакций, в соответствии с которыми РА формируют отклики типа «входная информация – реакция». В качестве такого ПА могут выступать как ЧА, так и КА. Для формирования



семантики взаимодействия РА-РА и прогнозирования их отклика, ПА должен использовать свою модель знаний об окружающем мире и на основе когнитивной обработки сформировать сценарии будущего взаимодействия РА между собой. Схема шаблона взаимодействия РА-РА представлена на рис. 5.

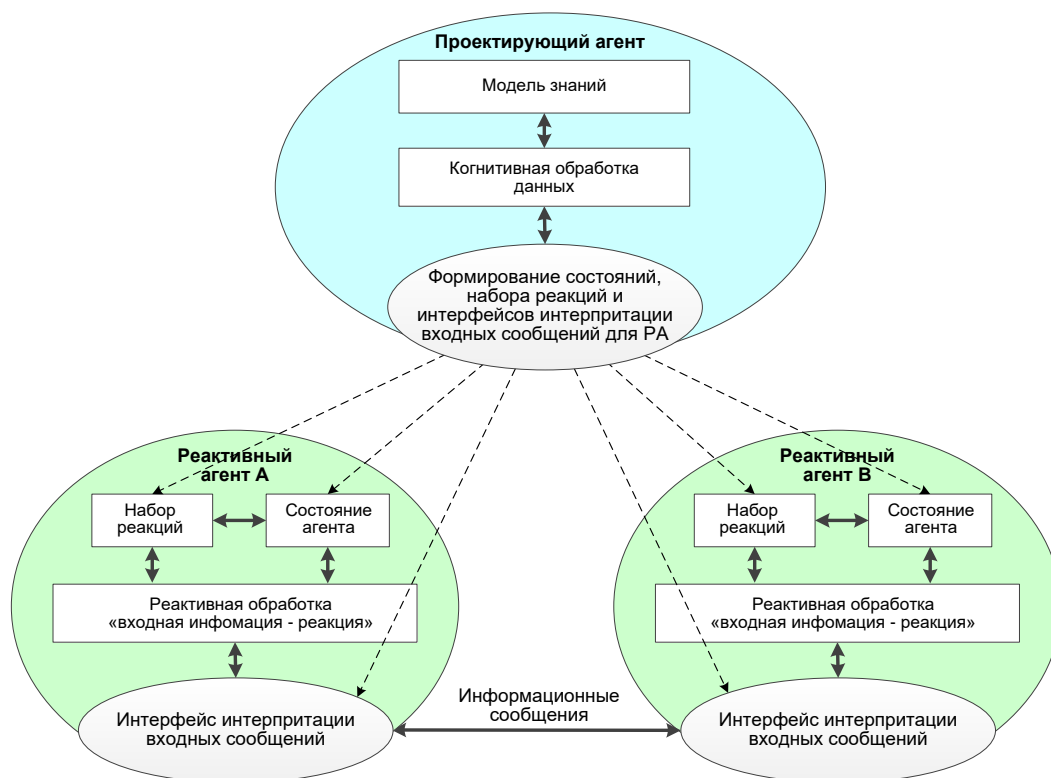


Рис. 5. Шаблон взаимодействия РА-РА.

Определим особенности параметры тройки семантического взаимодействия <Цель, Предметная область, Контекст>, а также особенности функционирования внутренних элементов РА и ПА, характерные для шаблона взаимодействия РА-РА.

*Цель:* цель взаимодействия РА-РА полностью определяются и подчиненно либо цели одного из РА, который является РА-инициатором взаимодействия, либо замыслу ПА, в качестве которого может выступать как ЧА, так и КА. РА-инициатор формирует входную информацию и отклик от РА-реципиента таким образом, чтобы приблизить достижение своей цели. У РА-реципиента нет какой-либо своей цели, и цель взаимодействия каждый раз

определяется целью того РА-инициатор, с которым сейчас взаимодействует РА, либо взаимодействие всех РА подчинено замыслу ПА.

*Предметная область:* если взаимодействие организовано между РА, то, как правило, оно осуществляется в одной предметной области, либо в близко-смежных предметных областях. Если взаимодействие между РА организуется ПА, то он должен в своей модели знаний в конкретной предметной области, предполагать реакции всех РА и конфигурировать их таким образом, чтобы обеспечить необходимую реакцию РА.

*Контекст:* как правило, РА могут формировать самые простейшие данные по контексту. Эти данные могут быть определены техническими датчиками: время, место, физические параметры окружающей среды (температура, освещенность, скорость движения агентов и т.д.).

*Набор реакций, состояний и интерфейс интерпретации сообщений, взаимодействующих РА* определяется замыслом ПА, с учетом его целей, модели знаний и требуемого результата, ожидаемого от взаимодействия РА.

Семантическая интероперабельность при взаимодействии РА-РА может принимать следующие значения:

- двухсторонняя семантическая совместимость между РА-РА достигнута;
- односторонняя семантическая совместимость между РА-инициатор – РА-реципиент достигнута (при этом семантическое взаимодействие по обратному каналу РА-реципиент – РА-инициатор не требуется);
- семантическая совместимость между РА-РА не достигнута.

## **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, технических

когнитивных агентов и технических реактивных агентов. При этом семантика их взаимодействия между собой определяется в виде тройки <Цель агентов, Предметная область, Контекст>.

3. Предлагаемый мультиагентный подход и разработанную на его основе концепцию интероперабельности 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.

### 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* [электронный журнал]. 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* [электронный журнал]. 2015. №3. <http://jre.cplire.ru/jre/mar15/7/text.pdf>
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* [электронный журнал]. 2014. №12. <http://jre.cplire.ru/jre/dec14/16/text.html>.
16. Гуляев Ю.В., Журавлев Е.Е., Олейников А.Я. Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса. Аналитический обзор. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2012. №3. <http://jre.cplire.ru/jre/mar12/2/text.pdf>.
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* [электронный журнал]. 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* [электронный журнал]. 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., Узьякаев 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., Широкова Т.Д. Проблема интероперабельности в информационных системах военного назначения.

*Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2016. №11.  
<http://jre.cplire.ru/jre/nov16/8/text.pdf>.

29. Башлыкова А.А., Олейников А.Я. Интероперабельность и информационное противоборство в военной сфере. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2016. № 12. <http://jre.cplire.ru/jre/dec16/14/text.pdf>.
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* [электронный журнал]. 2018. №9. <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*. Москва, ЛЕНАНД, 2019. 724 с. <https://urss.ru/elib/249005/#>.
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. О некоторых параметрах поиска и обработки информации при обеспечении технической интероперабельности сетцентрических

систем. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №3.

<https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.3.5>

37. Макаренко С.И. *Справочник научных терминов и обозначений*. СПб., Научное издательство «Лань». 2019. 254 с.

**Для цитирования:**

Макаренко С.И., Соловьева О.С. Основные положения концепции семантической интероперабельности сетевых систем. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №4. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.10>