

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.2.4>

УДК: 004.5

СЕМАНТИЧЕСКАЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ В СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

С.И. Макаренко

**Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН
199178, Санкт-Петербург, 14 линия Васильевского острова, д. 39**

Статья поступила в редакцию 20 февраля 2022 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 предыдущих работах автора на основе мультиагентного подхода и SCOPE-модели (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model for Interoperability Assessment) предложены основные положения концепции семантической интероперабельности СЦИУС. В этой концепции взаимодействие в СЦИУС формализуется на основе агентов различных типов: человеческих агентов (ЧА) и технических агентов (ТА). В данной статье рассматриваются особенности семантической интероперабельности человеко-машинных интерфейсов при взаимодействии ЧА–ТА и ЧА–ТА–ЧА.

Ключевые слова: интероперабельность, сетецентрические системы, агент, человеко-машинное взаимодействие, человеко-машинный интерфейс, 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 has 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 is proposed in other author's papers on basis of a multi-agent approach and a systems, capabilities, operations, programs, and enterprises model for interoperability assessment. In this concept, the interaction on the semantic level in net-centric systems is formalized on basis of various types of agents: human agents and technical agents. This paper is focused the features of semantic interoperability of human-machine interfaces for interaction on directions: "human agent - technical agent" and "human agent - technical agent - human agent".

Key words: interoperability, net-centric system, agent, human-machine interaction, human-machine interfaces, semantic compatibility.

Финансирование: Результаты, представленные в данной работе, получены в рамках госбюджетной темы НИР № FFZF-2022-0004.

Автор для переписки: Макаренко Сергей Иванович, mak-serg@yandex.ru

Введение

В настоящее время развитие информационных систем ведется в направлении их интеграции и глобализации. Первостепенным, можно сказать ключевым, свойством на основе которого объединяются информационные системы, является интероперабельность, под которым понимается способность бесшовного информационного взаимодействия 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 использованию информации, полученной в результате обмена».

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].

В работе [35] представлена обобщенная модель интероперабельности, разработанная международным консорциумом NCOIC – Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises Model for Interoperability Assessment (SCOPE-модель). В то же время в Российской Федерации (РФ) имеется действующий стандарт 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 (рис. 1). В работе [36] автором предложена концепция семантической интероперабельности сетцентрической информационно-управляющей системы (СЦИУС), как частного случая сложной информационной системы, в виде «семантической сети» множества взаимодействующих агентов-людей и технических агентов – 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 рисунке 1. В работе [37] автором была проведена более глубокая проработка вопросов семантической интероперабельности взаимодействия агентов и «контекстных» параметров в ранее обоснованной мультиагентной системе (соответствует блокам 2.2 и 2.3 на рисунке 1). В работе [38] автором проанализировано влияние психологических аспектов (темперамента, характера, чувств, способностей, знаний и т.д.) на качество семантического взаимодействия между человеческими агентами: операторами технических систем, лицами, принимающими решения (ЛПР), в составе органов управления, людей – исполнителей (соответствует блоку 2.4 на рисунке 1). В результате к настоящему времени непроработанными остались вопросы

семантической интероперабельности человеко-машинных интерфейсов (ЧМИ) (блок 2.5 на рисунке 1).

Таким образом, целью данной статьи является разработка вопросов зависимости семантической интероперабельности агентов-людей от их поведения и состояния психики. Данное исследование продолжает и развивает ранее опубликованные работы автора [3, 6, 7, 17, 18, 24, 35-38, 40].



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

Актуальность статьи обуславливается следующим. Ранее, в работах [36, 37], рассматривая мультиагентную модель СЦИУС с точки зрения семантической интероперабельности взаимодействия агентов, основной акцент делался на взаимодействие именно технических агентов (ТА), в то время как человеческие агенты (ЧА) упоминались, но глубоко их особенности не

рассматривались. Вместе с тем в современных СЦИУС, ориентированных на управление критическими процессами (технологическими процессами в промышленности, оружием в системах управления вооружением, транспортом в системах управления железнодорожным/воздушным движением и т.д.), окончательное решение принимает именно человек, в терминах мультиагентной модели – ЧА. Именно ЧА, являясь оператором технической части СЦИУС или/и ЛПР, берет на себя ответственность за наиболее важные и ответственные решения. При этом на качество принятия решений ЧА в СЦИУС существенно влияют два фактора:

1) семантическая совместимость между ЧА при принятии коллективных решений в СЦИУС, ее зависимость от поведения и состояния человека, а также его психики;

2) семантическая интероперабельность ЧМИ как связующего звена между технической частью СЦИУС и ее организационной частью, образованной операторами технических средств и ЛПР органов управления.

Первый из этих двух факторов подробно рассмотрен в работе [38], а роль, место и особенности интероперабельности ЧМИ при взаимодействии ЧА–ЧА и ЧА–ТА в СЦИУС будут подробно рассмотрены в данной статье.

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.

Взаимодействие – процессы воздействия различных объектов друг на друга посредством обмена информацией.

Восприятие – это психический процесс, заключающийся в целостном отражении предметов и явлений, действующих в данный момент на органы чувств человека.

Данные – поддающееся многократной интерпретации представление информации в формализованной знаково-символьной форме, пригодной для сбора, хранения, передачи, обработки или представления в информационных системах [39].

Доступность использования – свойство систем, сред или оборудования, при наличии которого они могут быть использованы людьми с самым широким диапазоном возможностей для достижения установленных целей в определенных условиях использования [41].

Знания – совокупность информации о некоторой предметной области, хранящейся 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 [39]. В обобщенном виде можно записать: «знания» = «информация» + «цель».

Интерактивная система – сочетание компонентов аппаратного и программного обеспечения, которое получает информацию, вводимую пользователем, и сообщает ему свой ответ, помогая пользователю в работе или выполнении задачи [41].

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 [39].

Интерфейс – совокупность унифицированных технических, программных и конструктивных средств, реализующих взаимодействие различных функциональных элементов в информационной системе, обеспечивающих

информационную, электрическую и конструктивную совместимость этих элементов.

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 [39]. В обобщенном виде можно записать: «информация» = «данные» + «смысл» [40].

Канал восприятия информации – путь получения информации человеком с использованием одного из своих органов чувств: зрения, слуха, осязания, вкуса или обоняния.

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 [39].

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 [39].

Неявная информация – информация, которую сложно представить в какой-либо знаково-символьной, визуальной или вербальной форме, позволяющей относительно легко интерпретировать ее смысл. К неявной информации может относиться информация о психологическом и эмоциональном состоянии; о национальных, культурных, религиозных и исторически обусловленных традициях или событиях, о нюансах социальных и организационных ролей, о подтексте, двойном или скрытом смысле определенных сообщений.

Неявное знание – знание, которое трудно формализовать, представить, выразить или извлечь, и, следовательно, его трудно передать другим в каком-либо формализованном виде. Неявные знания могут включать личную мудрость, опыт, пронизательность и интуицию.

Пользовательский интерфейс – компоненты интерактивной системы (программное обеспечение и аппаратное обеспечение), которые предоставляют пользователю информацию и возможность управления для выполнения производственных заданий [41].

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 [39].

Пригодность использования – свойство человеко-машинного или пользовательского интерфейса, при наличии которого пользователь может применять его в определенных условиях использования для достижения установленных целей с необходимой результативностью, эффективностью и удовлетворенностью [41].

Результативность использования – степень реализации запланированной деятельности и достижения запланированных результатов [41].

Семантика – смысл языкового высказывания или формально-символического выражения.

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

Семантическая совместимость – способность двух или более объектов адекватно воспринимать и единообразно интерпретировать смысл одинаково представленных данных. В отличие от семантической интероперабельности, понятие семантической совместимости относится прежде всего к данным, т.е. к знаково-символьной форме представления информации и применимо в основном к взаимодействию ТА. В то время как семантическая интероперабельность охватывает более широкий сектор отправителей и получателей информации (ими могут выступать как ЧА, так и ТА), объединяя все факторы, влияющие на интерпретацию поступающей информации (в том числе с учетом психического состояния взаимодействующих ЧА), и относится

ко всем формам представления информации (включая передачи неявной информации между ЧА, а также наличие скрытого смысла). Таким образом, понятие «семантическая совместимость» относится к понятию «семантическая интероперабельность» как частное к общему.

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.

Совместимость – способность двух или более объектов взаимодействовать друг с другом.

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

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

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

Человеко-машинный интерфейс – интерфейс, обеспечивающий передачу информации между человеком и технической системой (машиной).

Эргономика – наука, рассматривающая вопросы взаимодействия человека с другими элементами системы. Теория, принципы, данные и методы эргономики применяются в процессе проектирования организационно- и человеко-технических систем для обеспечения сохранности здоровья человека и оптимизации общей производительности системы [41].

Явная информация – информация, которая может быть представлена в знаково-символьной, визуальной или вербальной форме, которая позволяет относительно легко интерпретировать ее смысл.

Явное знание – знание, которое может быть представлено в виде какой-либо формализованной модели знаний, которое относительно легко может быть передано другим (людям или техническим агентам).

2. Проблемные вопросы организации семантического взаимодействия с использованием человеко-машинных интерфейсов

2.1. Проблемы передачи неявной информации и формирования неявных знаний при семантическом взаимодействии

В целом семантическое взаимодействие между людьми, или в терминах мультиагентной модели – ЧА, как показано в работе [37], может быть представлено в виде тройки:

$$\text{Взаимодействие} = \langle \text{Цель}, \text{Предметная область}, \text{Контекст} \rangle.$$

При непосредственном взаимодействии людей (ЧА) на особенности интерпретации цели взаимодействия, терминов предметных областей и контекста влияют, прежде всего, психологические и социально-культурные особенности взаимодействующих ЧА, подробно рассмотренные в работе [38]. Однако в современных условиях на практике ЧА взаимодействуют не непосредственно, а посредством технических средств (ТА): средств передачи изображения и голоса, программ отправки сообщений (типа email, sms или ICQ), через пользовательский интерфейс (ПИ) программного обеспечения (ПО) компьютерных систем. При этом технические средства, используемые для взаимодействия между ЧА, обладают различными ЧМИ, качество которых влияет на интерпретацию смысла сообщений, которыми обмениваются ЧА.

В целом можно сделать вывод, что достижение семантической интероперабельности обусловлено необходимостью максимизировать объем явной информации и минимизировать объем неявной информации, одновременно с проведением мероприятий по правильной интерпретации смысла неявной информации. Смысл сообщений, несущих неявную информацию, является наиболее сложным для интерпретации и, соответственно,

– для достижения семантической интероперабельности, из-за высокой вероятности ошибочных предположений о значении передаваемых сообщений (рисунок 2).

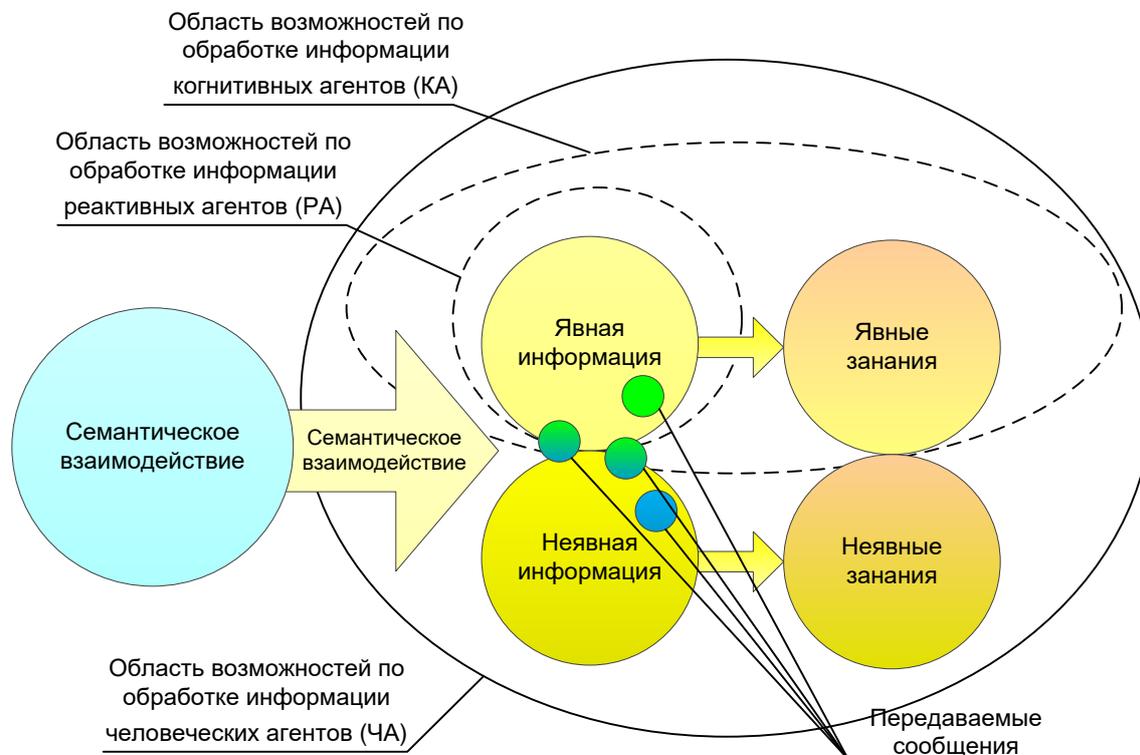


Рис. 2. Взаимосвязь между семантическим взаимодействием, неявной и явной информацией, неявными и явными знаниями, а также возможностями ЧА и ТА по обработке информации

Рассматривая в составе СЦИУС взаимодействие ЧА и ТА, а также учитывая, что в процессе взаимодействия сообщения могут содержать как явную, так и неявную информацию, а результатом семантического взаимодействия может быть формирование как явных, так и неявных знаний, можно сделать вывод о наличии проблем правильной интерпретации смысла при взаимодействии ЧА и ТА. Суть этих проблем, представленных на рисунке 3, заключается в следующем:

1) невозможность посредством технических средств (ТА) передать неявные знания ЧА. Таким образом, взаимодействие ЧА посредством технических средств накладывает барьеры на передачу информации, соответствующей неявным знаниям. Большая часть такой информации

соответствует таким психологическим и социально-культурным аспектам семантического взаимодействия, как [37]: чувства и эмоции взаимодействующих ЧА; культурный, нравственный и религиозный контекст; различие ЧА в уровне образования, в интеллектуальных способностях, личном опыте; возможности ЧА по правильной лингвистической интерпретации тех или иных лингвистических сообщений (например: сарказм, скрытый смысл, юмор и т.д.). Как правило, вся эта неявная информация теряется при взаимодействии ЧА посредством технических средств;

2) невозможность формализовать неявные знания людей и передать их ТА в форме какой-либо формальной модели знаний. То же самое относится и к неявной информации.

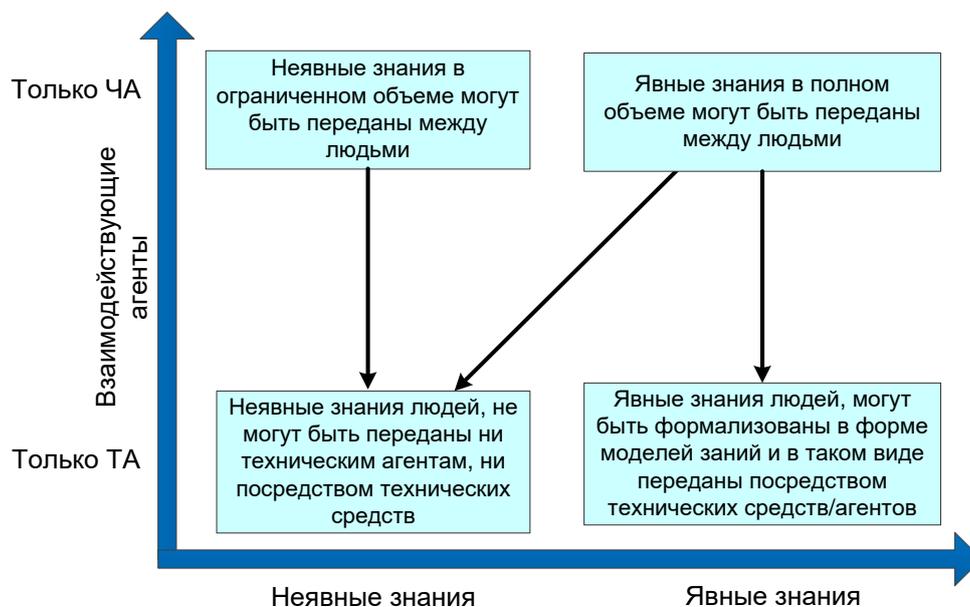


Рис. 3. Проблемы в передаче неявных знаний, посредством технических средств

Преодоление вышеуказанных проблем сводится к следующему:

1) формирование «расширенных» ЧМИ ЧА–ЧА, посредством которых непосредственно взаимодействуют ЧА, создающих «эффект присутствия» путем передачи между ЧА информации одновременно по различным каналам восприятия (визуальному, вербальному (речевому) и тактильному);

2) повышение эргономики ЧМИ ЧА–ЧА и ЧА–ТА, в части повышения качества передачи явной информации;

3) стандартизация ЧМИ, посредством которых ЧА вводит/выводит информацию в/из ТА, а также правил межмашинного обмена, в соответствии с которыми ТА взаимодействуют между собой.

Формированию «расширенных» ЧМИ сейчас соответствует тенденция повышения «канальности» обмена информацией между людьми. Так, если в прошлом веке основным техническим каналом непосредственного взаимодействия между людьми был вербальный (речевой) канал, реализуемый посредством технических средств телефонной связи, то сейчас с распространением смартфонов и широкополосной связи к нему добавился и визуальный канал, который, совместно с голосовым, позволяет осуществлять видеозвонки и проводить видеоконференции. Наличие визуального канала позволяет дополнительно воспринимать такую неявную информацию, как: эмоции человека, невербальные сигналы (поза, мимика) и т.д., с помощью которой можно более правильно интерпретировать смысл вербальной информации и отношение к ней взаимодействующих лиц. Подробно основные каналы передачи информации посредством ЧМИ и их характеристики будут рассмотрены далее.

Повышение эргономики ЧМИ обеспечивает более высокие показатели полноты, актуальности и оперативности передачи информации при взаимодействии ЧА–ЧА через технические средства, а также при получении и вводе информации при взаимодействии ЧА–ТА.

Стандартизация ЧМИ обеспечивает единые правила формирования способов, средств, интерфейсов ЧМИ, а также единые протоколы взаимодействия ТА, обеспечивающие взаимодействие ЧА–ЧА. К таким стандартам в области передачи видеотелефонной информации можно отнести, например, стандарты GSM и MPEG, в области электронного документооборота – группу стандартов ANSI ASC X12, в области интерактивного обмена мультимедийной информации через сеть Интернет – стандарты XML и HTML и

т.д. Стандартизация позволяет сформировать типовые ЧМИ в которых обработка информации и представление ее человеку в виде текста, звука или визуального образа будут одинаковыми, что обеспечит высокую вероятность правильной интерпретации смысла передаваемой информации различными людьми.

2.2. Проблемы создания человеко-машинных интерфейсов для взаимодействия с когнитивными агентами, представляющими собой интеллектуальные робототехнические системы

Отдельную проблему представляет задача формирования ЧМИ для управления КА, которые являются интеллектуальными ТА с собственными моделями знаний и возможностями автономных действий. Примерами таких КА могут служить робототехнические системы (РТС) различного назначения: беспилотные летательные аппараты, необитаемые подводные аппараты, наземные роботы и т.д. Проблематика взаимодействия и построения ЧМИ для таких КА/РТС приведена в работе [42].

Помимо обозначенной выше проблемы невозможности передачи неявной информации и формирования неявных моделей знаний КА/РТС свойственны и другие проблемы, которые связаны с постановкой задач и автономным управлением.

При управлении КА/РТС до последнего времени зачастую использовалось прямое копирующее управление движениями робота или манипуляторов РТС, что неэффективно в условиях ограниченной информации, воспринимаемой человеком по тактильному обратному каналу.

Наиболее естественной и удобной формой взаимодействия ЧА с КА представляется прямой диалог оператора и интеллектуального РТС на языке, близком к естественному с использованием вербального канала передачи информации. Однако при выполнении относительно простых действий для человека может быть удобнее и привычнее использовать копирующее управление или действия с использованием тактильного канала передачи информации. Но для обучения робота сложным манипуляционным операциям

может потребоваться демонстрация требуемых действий по управлению рабочим инструментом. Такая же демонстрация может потребоваться и при обучении КА/РТС действиям в сложной и заранее неопределенной среде. При этом для человека-учителя критическим является наличие обратной сенсорной связи по тактильному или зрительному каналу поступления информации. По обратному тактильному каналу может передаваться сопротивление среды действиям манипулятора КА/РТС, а по визуальному каналу – автоматически распознаваться и соответственным образом отмечаться опасные для КА/РТС объекты [42].

Во всех перечисленных случаях ЧМИ представляет собой сложную многоканальную подсистему, являющуюся одной из основных в системе «человек-робот», в которой необходимо обеспечить взаимодействие и наилучшее согласование возможностей технической и биологической частей системы. Учет возможности КА/РТС проявлять автономное активное поведение, способность не только выполнять команды человека, но и самостоятельно планировать свои действия, требует введения принципиально новых подходов в проектировании ЧМИ управления такими системами. Таким образом, речь идет уже не об использовании ЧМИ для управления роботом, а о формировании ЧМИ, наилучшим образом обеспечивающим взаимодействие человека и робота, при этом именно робот должен выполнять основные действия в окружающей среде. Для этого необходимо обеспечить: многоканальность восприятия роботом информации о внешней среде (по визуальному, слуховому и тактильному каналам) и о собственном состоянии, дублирование этих каналов восприятия человеку-оператору; интеллектуальность планирования и принятия решений; высокую автономность действий при отсутствии связи с человеком-оператором. Основной проблемой создания таких ЧМИ является организация взаимодействия и согласования возможностей технической (РТС) и биологической частей системы «человек-робот» с тем, чтобы обеспечить наибольшую эффективность системы в целом [42].

Отдельной, и пока не решенной до конца проблемой, является разработка ЧМИ для управления человеком-оператором не одним роботом, а многообъектной РТС, состоящей из большого множества разнотипных роботов, в рамках решения единой задачи в реальном масштабе времени. С развитием и наращиванием количества управляемых объектов в стаях/роях/группах РТС проблема только усугубляется.

В соответствии с работой [42] ЧМИ КА/РТС должна иметь три уровня управления:

- целеуказания;
- планирования;
- исполнения.

Взаимодействие КА/РТС с человеком-оператором осуществляется как на уровне целеуказания, так и на уровне планирования.

На уровне целеуказания организован ЧМИ, позволяющий представлять информацию оператору в визуальной форме и в виде речевых сообщений с использованием лингвистических переменных, а также обеспечивать интерпретацию указаний оператора на естественном языке с использованием внутреннего проблемно-ориентированного языка, использующего те же лингвистические переменные [42].

Уровень планирования позволяет задать КА/РТС общую программу автономных действий и освободить оператора от детального анализа текущей обстановки. На этом уровне реализуются интеллектуальные модули КА/РТС, обеспечивающие выполнение действий в автоматическом режиме с использованием собственных сенсорных устройств. Существенным элементом на этом уровне является база знаний, которая содержит априорные сведения о возможностях и сценариях действий КА/РТС и об элементарных операциях, которые могут быть выполнены КА/РТС. Правила организации сложных сценариев действий также должны содержаться в базе знаний. Логика управления может быть формализована, например, в виде продукционных правил, которые определяют целесообразное поведение в зависимости от

складывающейся реальной ситуации. Кроме того, база знаний должна содержать и сведения эргономического характера, определяющие возможности человека-оператора участвовать в процессе управления или необходимость его вмешательства в той или иной ситуации [42].

На нижнем уровне, уровне исполнения, реализуются способы и средства взаимодействия РТС с объектами внешнего физического мира [42].

2.3. Проблемы формирования человеко-машинных интерфейсов для взаимодействия с интеллектуальными системами обработки больших данных

Широкое распространение интеллектуальных систем, представляющих собой КА в составе СЦИУС, сформировало еще одну проблему. Объем и разнородность обрабатываемых данных, сложность алгоритмов обработки, нетривиальность получаемых результатов – все это ставит вопросы, связанные с понятной и достоверной передачей информации от сложных технических систем к человеку-оператору.

К сожалению, физиологические и психологические возможности человека по уяснению и интерпретации поступающей информации многократно уступают возможностям современных технических систем по высокоскоростной ее обработке. В связи с этим на первое место выходит необходимость проектирования так называемых «интеллектуальных интерфейсов», которые адаптировали бы форму визуализируемой для человека информации таким образом, чтобы представить ее в максимально наглядном и понятном для анализа или принятия решения виде.

В работах [45-47] представлены разработки такого интеллектуального интерфейса для систем обеспечения информационной безопасности. Показано, что различные типы зависимостей между контролируемыми процессами, развитие контролируемых процессов во времени и пространстве, количество одновременно контролируемых факторов требуют различных подходов к визуализации контролируемых процессов. При выборе формы визуализируемой

информации требуется учитывать психологические особенности человека в ясности восприятия тех или иных визуальных форм. Эти особенности обсуждаются в работе [48].

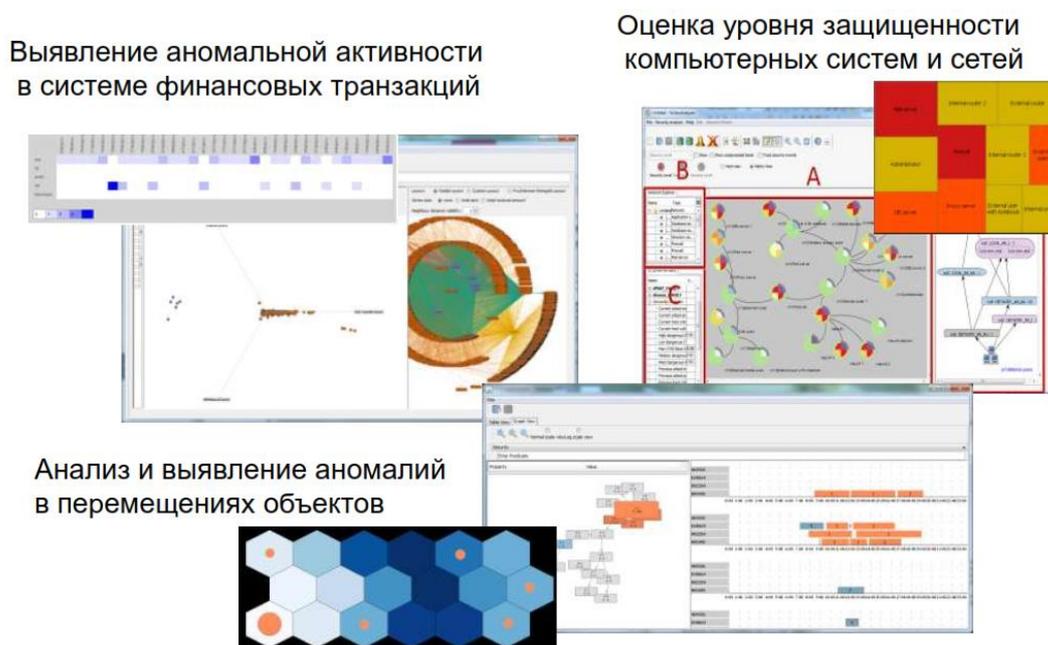


Рис. 4. Различные формы визуализации информации, адаптируемые к сути анализируемой информации [45-47]

С увеличением объемов перерабатываемой информации и уровня интеллектуальности КА, нетривиальности принимаемых ими решений (например, нейронными сетями) потребность в интеллектуализации ЧМИ будет возрастать. В противном случае человек попросту утратит возможность как-либо интерпретировать логику принятия решений и цельность сведений, поступающих от сложных технических систем.

3. Основные особенности семантического взаимодействия с использованием человеко-машинных интерфейсов

Цель данного подраздела состоит в том, чтобы описать основные особенности ЧМИ, обеспечивающие единое понимание смысла информации, которой обмениваются в направлении ЧА–ТА и ТА–ЧА. Эти особенности не имеют отношения ни к тому, как мозг обрабатывает информацию, поступающую по различным сенсорным каналам, ни к теории лингвистики, ни к тому, как люди

используют вербальные сообщения для передачи сообщений при взаимодействии с другими людьми. Эти особенности связаны, главным образом, с тем, как технологические реализации ЧМИ и технические средства взаимодействия влияют на качество семантического взаимодействия – помогают или препятствуют правильной интерпретации смысла передаваемой информации.

Важность семантической интероперабельности ЧМИ можно подтвердить следующими фактами. При управлении воздушным судном на этапе предпосадочного снижения у командира судна частота переноса взгляда с прибора на прибор колеблется от 100 до 200 в мин. Длительность фиксации взгляда на каждом приборе составляет порядка 0,6 с. Для управления самолетом приходится совершать около 30 движений руками в минуту. При этом пульс командира составляет около 150 ударов в минуту, а кровяное давление – 200 мм рт. ст. [43]. Способность оперативно и точно интерпретировать смысл информации, поступающей от ЧМИ самолета (показания его приборов), определяют эффективность решаемой задачи, в данном случае – успешную посадку самолета. При этом ЧМИ является важным элементом сложных организационно-технических систем, без учета особенностей которого успешное решение целевых задач просто невозможно. По имеющимся данным, на долю ошибок человека-оператора (так называемого «человеческого фактора») приходится от 40 до 70% всех отказов технически сложных организационно-технических систем. Так, в соответствии с мировой статистикой, 80% катастроф в авиации и 64% на морском флоте происходит в результате человеческих ошибок, вызванных неправильно принятыми решениями. При этом весьма высока доля тех ошибок, которые обусловлены неверной интерпретацией смысла информации, поступающей через ЧМИ, или неверного ввода команд в ЧМИ [43].

В середине XX в. большинство технических средств имели свои собственные индивидуальные ЧМИ, которые предоставляли возможность взаимодействия с человеком по различным сенсорным каналам строго

определенным особенным образом, характерным только для этого средства (например: ЧМИ станка с программируемой последовательностью операций, ЧМИ рабочего места экскаватора, ЧМИ рабочего места пилота и т.д.). Имелись отдельные универсальные элементы ЧМИ (стрелочные указатели, кнопки отдельных операций, рычаги и переключатели), которые объединялись в составе ЧМИ соответственно функциям управления конкретным техническим средством.

К концу XX в. ЧМИ эволюционировал, и к настоящему времени для большинства технических средств он предоставляет собой типовые визуальные элементы пользовательского интерфейса (оконные формы) на экране, с которыми пользователь взаимодействует с помощью «мыши» и клавиатуры [44]. Через экран человеку представляется информация либо в текстовой и визуальной форме, либо в виде необходимости выбора определенных альтернативных действий. После осуществления взаимодействия представляемая на экране информация изменяется, выводя новую информацию и формируя новый список функциональных возможностей для повторного выбора пользователем. Таким образом, подавляющее число современных ЧМИ представляет собой набор последовательных взаимодействий человека с актуальной визуальной информацией, которые позволяют уточнить свое намерение, а экран выводит визуализацию результатов действий пользователя.

Ограничения в визуализации той или иной информации, невозможность представления стратегии действий человека в виде конечной последовательности выбора из относительно небольшого числа альтернатив, трудности визуализации состояний сложных объектов и процессов, возможность передачи человеком управляющих и информационных сообщений только в виде ограниченного набора символов или в виде конечного числа механических переключателей являются существенным барьером для семантической интероперабельности при взаимодействии через ЧМИ.

В целом информационное взаимодействие человека с техническим средством (ТА) посредством ЧМИ может быть представлено следующим образом – рисунок 5.

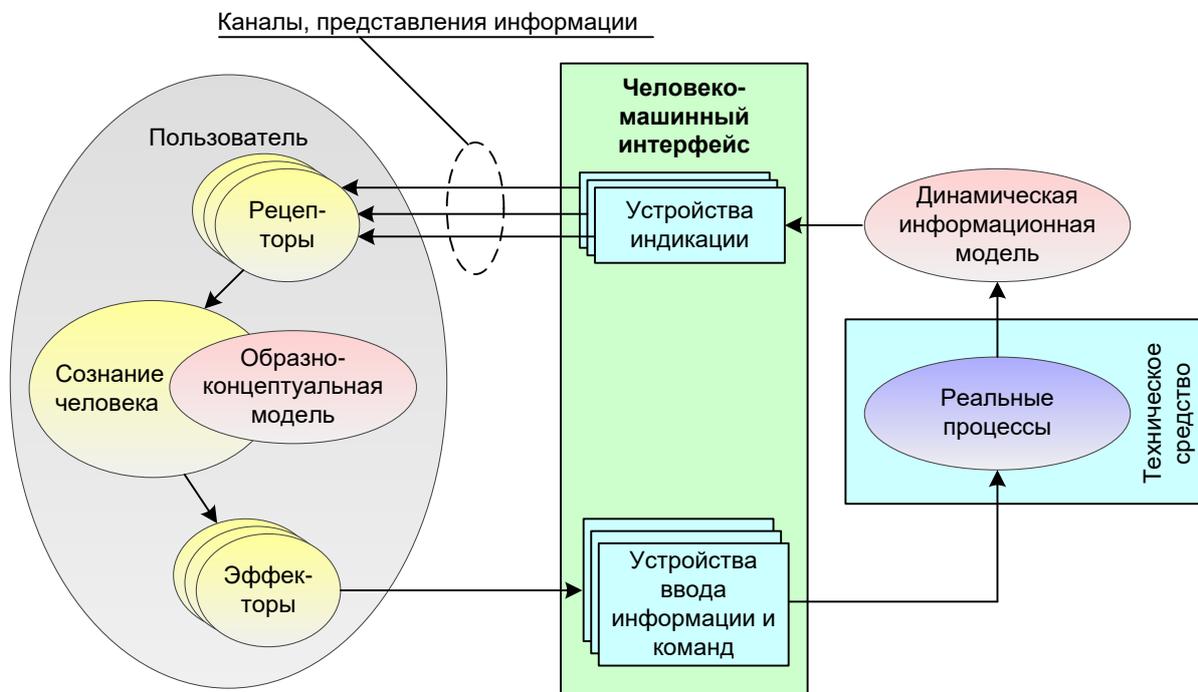


Рис. 5. Взаимодействие пользователя с техническим средством через ЧМИ

В силу своих специфических особенностей, человек не может напрямую общаться с техническим средством (ТА), в результате требуется согласовать процессы интерпретации информации о состоянии реальных процессов со стороны технической системы и человека. Для такой интерпретации используется ЧМИ, который посредством устройств индикации, визуальных, звуковых, тактильных и других каналов восприятия передает информацию человеку. Совокупность информации, отображаемой на устройствах индикации, формирует динамическую информационную модель – объективный образ реальных процессов, представляемый в виде множества сигналов, несущих информацию человеку. Эта модель постоянно изменяется в соответствии с изменениями, происходящими в реальных процессах технического средства. Оператор принимает информацию при помощи рецепторов. Полученная информация обрабатывается в сознании человека, в результате чего

формируется образно-концептуальная модель – совокупность представлений человека о реальном и прогнозируемом состоянии реальных процессов, о целях и способах достижения цели своей деятельности. В соответствии с последними человек формирует решения, команды или определенные действия, которые он передает через ЧМИ в техническое средство, чтобы обеспечить достижение цели своей деятельности. Ввод решений, команд или совершение определенных действий реализуется с помощью эффекторов, которые воздействуют на устройства ввода [43].

Семантика взаимодействия посредством ЧМИ, как правило, определяется человеком – проектировщиком на ранней стадии создания технического средства. Таким образом, именно на проектировщика ложится обязанность продумать все особенности управления конкретными техническими средствами или передачу через них информации, с последующим семантическим определением смысла всех элементов ЧМИ и порядка взаимодействия с ними со стороны человека (рисунок 6).

Модель семантической интероперабельности включает в себя взаимодействия не только между пользователями (ЧА) и техническими средствами (ТА), но и взаимодействие между пользователями через технические средства (рисунок 7), а также технических средств (ТА) между собой. Таким образом, можно выделить три типа взаимодействия:

- 1) ЧА – ЧМИ – ТА;
- 2) ЧА – ЧМИ-1 – ТА – ЧМИ-2 – ЧА;
- 3) ТА – Интерфейс – ТА.



Рис. 6. Влияние проектировщика на процесс взаимодействия пользователя через ЧМИ

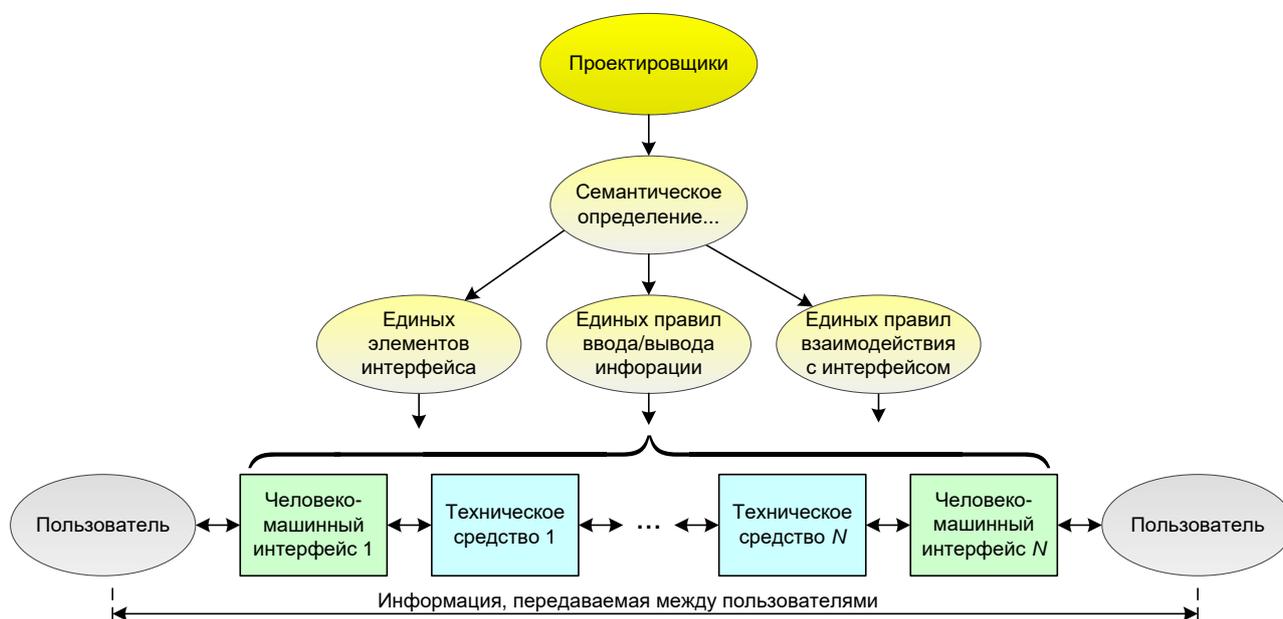


Рис. 7. Взаимодействие пользователей посредством технических средств через различные ЧМИ

В СЦИУС, представляющей собой совокупность большого количества организационных подсистем и технических средств, проектировщики ЧМИ должны предусматривать возможность того, что человек-оператор будет через

ЧМИ взаимодействовать не только с тем техническим средством, которому принадлежит этот ЧМИ, но и с другими техническими средствами, которые могут обладать другим набором предоставляемой пользователю информации и другим набором команд. Таким образом, проектировщики ЧМИ должны предусматривать определенный уровень универсальности проектируемых ЧМИ и обеспечить возможность «подключения» их в качестве средства интерактивного взаимодействия к различным техническим средствам СЦИУС. Кроме указанного преимущества, универсальность ЧМИ позволяет без дополнительного переучивания использовать один и тот же ЧМИ различным пользователям, взаимодействующим с различными техническими средствами. Например, схожий оконный интерфейс реализуется в большом количестве частных ЧМИ, функционирующих в системах Windows, Unity, Gnome, KDE и др.

4. Основные сенсорные каналы получения информации через человеко-машинный интерфейс. Визуальный, слуховой, тактильный каналы

В общем случае у человека выделяют визуальный, слуховой, тактильный, вкусовой, обонятельный, кинестетический (внутримышечный), температурный и вестибулярный каналы получения информации об окружающей среде. При передаче данных через ЧМИ в наибольшей степени используются следующие каналы [42]:

- визуальный (зрительный) канал – до 90% от всей поступающей информации;
- слуховой канал – до 7-8% от всей поступающей информации;
- тактильный канал – 3-2% от всей поступающей информации.

Для ввода информации, как правило, используется движение рук, связанное с необходимостью набора команд на клавиатуре, переключения механических тумблеров или выполнения действий механическими рычагами. При вводе информации задействуется человеческая память [44].

Рассмотрим более подробно характеристики процессов восприятия и передачи информации человеком по вышеуказанным каналам.

Визуальный канал восприятия информации обеспечивает наибольшую точность определение величины признака, особенно при использовании цифровых кодов, шкал, изменений положений указателей приборов. Он позволяет сравнивать и измерять информацию одновременно по нескольким признакам. Визуальным каналом воспринимается форма, цвет, яркость и движение предметов. При этом наименьшая точность наблюдается при передаче информации посредством изменения яркости [43].

Быстродействие восприятия информации по визуальному каналу: 0,15-0,22 с [43].

Цвет предмета может интуитивно передавать эмоциональный окрас или важность информационного сообщения, в частности: красный – используется для предупреждения оператора о том, что система или ее часть не работают; желтый цвет – для обозначения предельных режимов, в которых необходима осторожность или которые требуют внимания оператора; зеленый цвет – нормально работающая система [43].

Визуальный канал обладает явно выраженными многомерными свойствами и позволяет одновременно использовать несколько признаков в сигнале. Информация для этого канала восприятия может быть закодирована одновременно с помощью интенсивности и цвета световых раздражителей, формы, площади, пространственного расположения сигналов, отношений их отдельных параметров. Способность человека к поэлементному анализу большого числа отдельных параметров сложного визуального сигнала позволяет воспринимать с помощью этого канала большой объем информации.

Слуховой канал восприятия информации ориентирован на восприятие звуковых и голосовых сообщений. Звук характеризуется интенсивностью, частотой и формой акустических колебаний, которые отражаются в слуховых ощущениях как громкость, высота и тембр. Слуховой канал по точности восприятия количественной информации может конкурировать со зрительным только при передаче количественной информации в виде речевых сообщений. Точность приема количественной информации, закодированной с помощью

частоты или интенсивности звукового сигнала, повышается при использовании эталона сравнения. Человек способен воспринять 16-25 градации тональных сигналов, различающихся по высоте или громкости [43].

Быстродействие восприятия информации по слуховому каналу: 0,12-0,18 с. При этом звуковая информация воспринимается человеком на 20-30 мс быстрее визуальной [43].

Слуховой канал часто используется при передаче аварийных сигналов от средств сигнализации. Понимание человеком речевых сообщений зависит от темпа их передачи, наличия интервалов между словами и фразами. Оптимальным считается темп 120 слов в минуту [49].

Тактильный канал восприятия используется для получения информации о положении предмета в пространстве, о его форме, размерах, качестве поверхности и материалов. Функционирование тактильного анализатора основано на свойстве кожи воспринимать температурные, химические, механические и электрические воздействия предмета или орудия труда. Наиболее часто тактильный анализатор используется для получения информации о состоянии оборудования путем анализа его положения в пространстве или вибраций [43].

Быстродействие восприятия информации по тактильному каналу: 0,09-0,22 с [43].

Недостатком тактильного канала восприятия информации является то, что он обладает быстрой адаптацией, приводящей к снижению абсолютного порога ощущения [43].

В настоящее время тактильные каналы используются для контроля за работой оборудования (путем восприятия его вибраций), опознания органов управления и получения информации о вводе управляющих воздействий в систему управления, за счет обратной связи в штурвалах, рычагах, тумблерах и переключателях [43].

5. Характеристики памяти и двигательных функций человека при реакции на поступающую информацию и вводе команд в человеко-машинный интерфейс

5.1 Характеристики памяти

При принятии решений важную роль играет кратковременная и долговременная память человека, позволяющая запоминать поступившую информацию. При вводе информации в ЧМИ определяющее значение имеют двигательные функции рук человека, направленные на набор команд на клавиатуре, переключение механических тумблеров или выполнение действий механическими рычагами.

Краткосрочная память человека обеспечивает временное запоминание информации. Она характеризуется быстрым доступом (порядка 70 мс), быстрым забыванием информации (порядка 200 мс) и ограниченной емкостью (5-9 элементов информации) [44].

Долговременная память является основным хранилищем знаний человека. Она характеризуется относительно медленным доступом (порядка 120 мс), медленным или несуществующим забыванием информации, огромной или даже неограниченной емкостью. Различают два типа долговременной памяти: эпизодическая память (память о последовательности событий) и семантическая память (структурированная память о фактах, концепциях, навыках и т.д.) [44].

5.2 Характеристики двигательных функций человека

Исполнительные рабочие движения (операции) оператора по вводу информации или команд в ЧМИ разделяют на [49]:

- операции включения, выключения и переключения. Их основная характеристика – время реакции;
- выполнение последовательного ряда повторяющихся движений при операциях кодирования и передачи информации. Их основные характеристики – темп и ритм движений;

- манипуляционные, связанные с дозированием движений по силовым, пространственным и временным параметрам. Используются при настройке аппаратуры и точной установке управляемого объекта. Основной параметр – точность дозирочных реакций;
- операции сенсомоторного слежения, заключающиеся в непрерывном решении задачи согласования положения управляемого объекта в пространстве с перемещающимся объектом – целью.

Большинство управляющих движений выполняется после получения и анализа информации, поступающей по каналам восприятия.

Время реакции – время, требующееся для совершения простого моторного действия в ответ на стимул, которое состоит из времени реакции на стимул и времени движения. Время реакции на стимул зависит от типа стимула: для визуального стимула оно составляет примерно 0,15-0,22 с, для слухового – 0,15 с, для тактильного – 0,16 с, для болевого – 0,7 с. Время движения зависит от возраста, физической формы и др. Время движения в зависимости от специфики требуемых действий (переключения тумблера, движение рычага, набор команды на клавиатуре) может занимать 1,5-5 с, при этом самому действию предшествует нервно-мышечное запаздывание 0,1-0,2 с. Особую роль при определении времени движения приобретает сложность кодирования правильных реакций на стимулы в выполняемые действия, т.е. сложность соответствия между предъявляемым стимулом и требуемыми действиями при реакции на него. Так, если до реакции необходимо предварительно решить задачу выбора, то время реакции будет являться функцией, зависящей от сложности выбора, количества поступающей оператору информации, направления и формы движений, предыдущего опыта оператора. При этом улучшение времени реакции может приводить к ухудшению точности действий [44, 49].

6. Основные требования, предъявляемые к человеко-машинному интерфейсу и к информации, передаваемой через него

В целом к информации, передаваемой посредством ЧМИ, предъявляются следующие основные требования [50]:

- ценность – способность информации уменьшать неопределенность знания о целевом объекте или явлении;
- объективность – независимость информации от чьего-либо мнения или сознания, а также от методов ее получения;
- актуальность – степень соответствия информации текущему моменту времени;
- достоверность – истинность и точность информации в описании какого-либо факта, события или явления;
- адекватность – уровень соответствия, создаваемого с помощью полученной информации образа, реальному объекту, процессу или явлению;
- полнота – состав и объем информации, достаточный для правильного понимания какого-либо явления или принятия решения;
- безопасность – обеспечение конфиденциальности, целостности и доступности информации в отношении тех лиц, которые имеют право на ознакомление с нею.

При этом, как правило, ЧМИ функционирует в интересах обеспечения взаимодействия человека-пользователя либо с управляющими, либо с информационными техническими системами.

Для обеспечения вышеуказанных основных требований к передаваемой информации, а также в интересах качественного управления пользователем технической системой, к ЧМИ системы управления предъявляются требования по [50]:

- непрерывности – способность ЧМИ системы управления постоянно взаимодействовать с объектами управления;

- оперативности – способности получать, обрабатывать и преобразовывать информацию о состоянии управляемых объектов и среды, а также формировать управляющие воздействия и доводить их до управляемых объектов в соответствии с темпом изменения текущей ситуации;
- устойчивости – способность обеспечивать решение задач управления в сложной, резко меняющейся обстановке в условиях помех и дестабилизирующих воздействиях;
- безопасности – способность, в отношении пользователей ЧМИ, обеспечивать конфиденциальность, целостность и доступность информации о процессах управления, конечной цели и решаемых задачах, задействованных силах и средствах, а также их возможностях.

Для обеспечения вышеуказанных основных требований к передаваемой информации, а также в интересах качественной передачи сообщений к ЧМИ информационной системы предъявляются требования по [50]:

- пропускной способности (скорости передачи) – способность ЧМИ передавать определенный объем информационных сообщений в единицу времени;
- своевременности – способность ЧМИ обеспечивать передачу информационных сообщений пользователю по каналам восприятия в заданные сроки;
- достоверности – способность ЧМИ обеспечивать требуемую точность воспроизведения информационных сообщений через каналы восприятия человека, а также сохранять эту точность при преобразовании информации из одного типа в другой (например, из визуальной информации в речевую);
- безопасности – способность, в отношении пользователей ЧМИ, обеспечивать конфиденциальность, целостность и доступность содержания информационных сообщений и самого факта их передачи.

Для обеспечения вышеуказанных требований к ЧМИ информационными и управляющим системами, к информации, передаваемой посредством ЧМИ, предъявляются следующие дополнительные требования (ISO 9241-12):

- распознаваемость – информация может быть точно интерпретируема пользователем;
- понятность – смысл информации ясен, недвусмыслен и легко узнаваем;
- четкость – содержание информации передается быстро и точно;
- лаконичность – пользователю предоставляется только та информация, которая необходима для выполнения целевой задачи;
- постоянство – одинаковая информация представляется одинаковым образом во всех ЧМИ, при этом форма представления соответствует ожиданиям пользователей;
- обнаруживаемость – акцентирование внимания пользователя на требуемую, важную или срочную информацию;
- разборчивость – информационные сообщения легко и четко принимаются по сенсорным каналам пользователя.

Вышеуказанные дополнительные требования к информации, передаваемой посредством ЧМИ, стандартом ISO 9241-12 определяются для визуальной информации, выводимой посредством экранов ЭВМ, однако эти же требования в полной мере относятся к вербальной (речевой) и к тактильной информации. Поэтому их можно считать относительно универсальными.

Вышеуказанные требования предъявляются к информации, передаваемой от ЧМИ к пользователю. В отношении информации, вводимой пользователем в ЧМИ, в работе [51] предложен такой интегральный показатель качества ЧМИ, как информационная производительность.

Информационная производительность ЧМИ – отношение минимального количества информации, необходимого для выполнения системой целевой задачи, к количеству информации, которую должен ввести пользователь. Этот показатель может изменяться в пределах от 0 до 1. Если никакой информации от пользователя для выполнения целевой задачи не требуется, то информационная

производительность ЧМИ максимальна и равна 1. Информационная производительность может равняться и 0 в случаях, когда пользователь должен ввести информацию, которая совершенно бесполезна (например, подтвердить окончание каких-либо действий, нажав кнопку с единственной надписью «Ок»)
[51].

7. Основные стандарты, определяющие эргономику человеко-машинного интерфейса

Как было показано ранее, подавляющее большинство современных ЧМИ, представляют типовые визуальные элементы пользовательского интерфейса (оконные формы) на экране, с которыми пользователь взаимодействует с помощью мыши и клавиатуры. Одним из направлений повышения семантической интероперабельности является стандартизация элементов пользовательских интерфейсов, способов взаимодействия пользователя, форм и способов представления информации. В настоящее время международными организациями по стандартизации разработано большое количество стандартов, направленных на решение этих задач. В первую очередь к ним относится группа стандартов ISO 9241 «Эргономика человеко-машинного взаимодействия». В эту группу стандартов входят следующие:

- серия 9241-1xx «эргономика программного обеспечения»;
- серия 9241-2xx «способы человеко-машинного взаимодействия»;
- серия 9241-3xx «дисплеи и связанное оборудование»;
- серия 9241-4xx «устройства ввода и их эргономические свойства»;
- серия 9241-5xx «эргономика рабочего места»;
- серия 9241-6xx «эргономика системного ландшафта»;
- серия 9241-7xx «залы управления – прикладной аспект»;
- серия 9241-8xx «тактильное взаимодействие».

Применительно к задаче обеспечения интероперабельности ЧМИ можно отметить следующие основные стандарты.

Стандарты по общей эргономике взаимодействий с использованием различных типов ЧМИ: ISO 9241-110 ... ISO 9241-119. В этих стандартах приводятся высокоуровневые руководства, которые предназначены для разработки взаимодействия, основанного на потребностях пользователя и особенностях решаемой задачи [41].

Из вышеуказанных стандарт ISO 9241-110 является основным и содержит базовые принципы организации взаимодействия через ЧМИ, а также рекомендации по их реализации. Данный стандарт определяет следующие основные требования к ЧМИ для организации высокоэффективного взаимодействия [41]:

- пригодность для выполнения задачи или обмена целевой информацией;
- высокая информативность;
- соответствие ожиданиям пользователя;
- пригодность для обучения;
- управляемость;
- устойчивость к ошибкам пользователя;
- пригодность для индивидуализации.

Стандарт ISO 9241-129 определяет эргономические требования и рекомендации именно для последнего требования – для индивидуализации ЧМИ. Этот стандарт определяет содержание индивидуализации ЧМИ, выбор методов и способов ее реализации [41].

Стандарты ISO 9241-14 ... ISO 9241-17 определяют различные способы и параметры, используемые для организации взаимодействия посредством ЧМИ, например, такие как [41]:

- выбор и комбинирование способов взаимодействия;
- создание интерактивных меню;
- системы команд и способы их ввода;
- непосредственное управление;
- формы, заполняемые при взаимодействии;
- взаимодействие с использованием естественного языка;

- взаимодействие в системах вопрос-ответ;
- взаимодействие посредством манипуляторов и средств копирования действий пользователя.

Стандарт ISO 9241-920 определяет эргономические требования и дает рекомендации по созданию ЧМИ, основанным на тактильном взаимодействии с аппаратным и программным обеспечением. К таким относится широкий класс ЧМИ управления самолетами, БПЛА, копирующими манипуляторами и проч. объектами, управление которыми осуществляется посредством рычажных систем с обратной связью [41].

Помимо стандартов группы ISO 9241 существует и другие стандарты, регламентирующие эргономику ЧМИ.

Группа стандартов ISO 14915 включает в себя три стандарта: ISO 14915-1, ISO 14915-2 и ISO 14915-3, которые определяют эргономику мультимедийных ЧМИ. В ISO 14915-1 представлено основное руководство, а в ISO 14915-2 и ISO 14915-3 руководства по вводу, выводу и взаимодействию. При этом нужно отметить, что несмотря на то, что эти стандарты ориентированы на визуальные мультимедийные ЧМИ, они не затрагивают такие многоканальные способы ввода информации, как речь или тактильные ощущения [41].

Стандарт ISO 6385 устанавливает основополагающие принципы проектирования рабочих систем и определяет основные термины в этой области. В стандарте описан интегрированный подход к проектированию рабочих систем, где эргономика органически сочетается с другими аспектами проекта. Особое внимание уделяется персоналу, а также учитываются и социальные, и технические требования при проектировании [41].

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, который на сегодня наименее проработан, ввиду его сложности и мультидисциплинарности.

2. Процесс взаимодействия на семантическом уровне можно представить на основе мультиагентного подхода, при котором система представляется в виде множества агентов различных типов: операторов (ЧА – человеческих агентов) и технических агентов.
3. Проведен анализ проблем использования ЧМИ при передаче информации как между ЧА, так и между ЧА и ТА в составе СЦИУС. Рассмотрены основные особенности семантического взаимодействия с использованием ЧМИ.
4. Определены требования, предъявляемые к ЧМИ и к информации, передаваемой через него. Рассмотрены особенности восприятия информации человеком при передаче ее по визуальному, слуховому и тактильному сенсорным каналам.
5. Рассмотрены основные стандарты, определяющие эргономику ЧМИ.

Материалы по семантическому взаимодействию посредством ЧМИ целесообразно в дальнейшем использовать при разработке модели интероперабельности СЦИУС, развивающей и дополняющей материалы проекта ГОСТ Р «Информационные технологии. Сетевые информационно-управляющие системы. Интероперабельность».

Автор для переписки: Макаренко Сергей Иванович, mak-serg@yandex.ru

Финансирование: Результаты, представленные в данной работе, получены в рамках госбюджетной темы НИР № FFZF-2022-0004.

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 сетевых 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 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. Грищенко 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. Грищенко А.Ю., Коробейников А.Г. Средства интероперабельности в распределенных геоинформационных системах. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2015. №3. <http://jre.cplire.ru/win/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 сетецентрических информационно-управляющих 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. Сетецентрические 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., Широбокова 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*. Под ред. В.А. Конявского. Москва, ЛЕНАНД. 2019. 724 с.
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* [электронный журнал]. 2021. №4. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.4.10>
37. 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>
38. Макаренко С.И. Семантическая совместимость человеческих агентов при обеспечении интероперабельности в сетевых системах. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2022. №1. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.1.1>
39. Макаренко С.И. *Справочник научных терминов и обозначений*. Санкт-Петербург, Научно-технологические технологии. 2019. 254 с.

40. Макаренко С.И. О некоторых параметрах поиска и обработки информации при обеспечении технической интероперабельности сетевых систем. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №3. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.3.5>
41. ГОСТ Р 55241.1-2012 / ISO / TR 9241-100:2010. *Эргономика взаимодействия человек-система*. Москва, Стандартинформ. 2018. 39 с.
42. Ющенко А. С. Человек и робот – совместимость и взаимодействие. *Робототехника и техническая кибернетика*. 2014. № 1 (2). С. 4-9.
43. Доронина Е. Г. *Человеко-машинное взаимодействие*. Учебное пособие. Старый Оскол, СТИ НИТУ «МИСиС». 2014. 81 с.
44. Мерзлякова Е.Ю. *Человеко-машинное взаимодействие*. Новосибирск, СибГУТИ. 2009. 49 с.
45. Коломеец М.В., Чечулин А.А., Котенко И.В. Обзор методологических примитивов для поэтапного построения модели визуализации данных. *Труды СПИИРАН*. 2015. №5 (42). С.232-257.
46. Новикова Е.С., Котенко И.В. Открытые задачи визуального анализа в системах управления информационной безопасностью. *Информационно-управляющие системы*. 2019. №2. С.57-67. <https://doi.org/10.31799/1684-8853-2019-2-57-67>
47. Котенко И.В., Коломеец М.В., Жернова К.Н., Чечулин А.А. Визуальная аналитика для информационной безопасности: области применения, задачи и модели визуализации. *Вопросы кибербезопасности*. 2021. №4 (44). С.2-15. <https://doi.org/10.21681/2311-3456-2021-4-2-15>
48. Лаптев В.В. *Проектные основы инфографики*. Учебное пособие. Москва, АВАТАР, 2016. 287 с.
49. Сергеев С.Ф. *Инженерная психология и эргономика*. Учебное пособие. Москва, НИИ школьных технологий. 2008. 176 с.
50. Макаренко С.И. *Модели системы связи в условиях преднамеренных дестабилизирующих воздействий и ведения разведки*. Монография. Санкт-Петербург. Научно-технологические технологии. 2020. 337 с.

51. Раскин Дж. *Интерфейс. Новые направления в проектировании компьютерных систем*. Москва, Символ-Плюс. 2005. 69 с.

Для цитирования:

Макаренко С.И. Семантическая интероперабельность человеко-машинных интерфейсов в сетевых системах. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2022. №2. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.2.4>