

# AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 004.415.2

Э.Д. Павлыгин, А.С. Корсунский, А.А. Куприянов, А.С. Мельниченко

### ФСМИ-ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ БОЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ КОРАБЛЯ

***Павлыгин Эдуард Дмитриевич**, кандидат технических наук. Окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Первый заместитель генерального директора по науке ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи в области статистических методов обработки сигналов. [e-mail: mars@mv.ru].*

***Корсунский Андрей Сергеевич**, кандидат технических наук, окончил факультет радиосвязи Ульяновского филиала Военного университета связи, адъюнктуру Военной академии связи им. С.М. Буденного. Главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет статьи и изобретения в области радиоэлектронной защиты, безопасности связи и информации, а также передачи информации по беспроводным каналам связи информационно-телекоммуникационных систем. [e-mail: aksspb@mail.ru].*

***Куприянов Анатолий Александрович**, кандидат технических наук, доцент, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Область научных интересов – методология построения и создания распределенных вычислительных систем. Имеет монографию, научные работы и статьи по направлению проектирования и разработки локальных и корпоративных сетей, комплексов средств автоматизации и автоматизированных систем управления специального и общего назначения. [e-mail: aakupr1828@rambler.ru].*

***Мельниченко Анатолий Степанович**, старший преподаватель базовой кафедры информационных технологий и защиты информации Ульяновского государственного университета, главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс». Область научных интересов – интеллектуальные системы, программная инженерия. Имеет научные работы и статьи по направлению проектирования и разработки экспертных систем и комплексов средств автоматизации. [e-mail: masulgu@yandex.ru].*

#### Аннотация

Интегрированная система боевого управления (ИСБУ) корабля как сложная открытая система представляет собой композицию компонентов, использующих внутренние и внешние связи для выполнения заданных функций.

Одним из свойств сложных систем является интероперабельность, т. е. способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена [ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения].

В интероперабельной системе входящие в нее подсистемы работают по независимым алгоритмам, не имеют единой точки управления, все управление определяется единым набором стандартов – профилем интероперабельности.

Интероперабельность систем различных классов и назначения оценивается множеством характеристик, определяющих данное свойство систем прямо или косвенно.

В статье представлен FCMI-подход к оценке интероперабельности ИСБУ корабля на основе нечёткой когнитивной модели с использованием инструментария нечеткой логики в среде пакета программ MATLAB.

Предлагаемый подход способствует проведению анализа и принятию решений в плохо определенных ситуациях, основан на моделировании субъективных представлений экспертов по оценке интероперабельности систем класса ИСБУ корабля.

Ключевые слова: интегрированная система боевого управления, интероперабельность, когнитивная модель, метод анализа иерархий, нечеткая база знаний, нечеткая когнитивная карта, нечеткий логический вывод, FCMI-подход.

## FCMI-APPROACH TO TESTING INTEROPERABILITY OF INTEGRATED COMBAT MANAGEMENT SYSTEM

**Eduard Dmitrievich Pavlygin**, *Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Radioengineering at Ulyanovsk Polytechnic Institute; First Deputy Director General for Scientific Affair at Federal Research-and-Production Center Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; an author of articles in the field of statistical methods for signal processing. e-mail: mars@mv.ru.*

**Andrei Sergeevich Korsunskii**, *Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Radio-Communications at Ulyanovsk Branch of the Military Communications University; finished his post-graduate studies at the S.M. Budenny Military Academy of Communications; Chief Specialist at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles and inventions in the field of radioelectronics protection, communications, and information security as well as data transmission through wireless communication channels in information telecommunication systems. e-mail: aksspb@mail.ru.*

**Anatolii Aleksandrovich Kupryyanov**, *Candidate of Engineering, Associate Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering at Ulyanovsk Polytechnic Institute; interested in the methodology for design and creation of distributed computer systems; an author of a monograph, articles, and other scientific papers in the field of development and design of local and corporate networks, complexes of automation tools and automated control systems of special and general purpose. e-mail: aakupr1828@rambler.ru.*

**Anatolii Stepanovich Melnichenko**, *Senior Teacher of the Basic Department of Information Technologies and Information Security at Ulyanovsk State University; Chief Specialist at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; interested in intelligence systems and program engineering; an author of scientific papers and articles in the field of development and design of expert systems and automation tool complexes. e-mail: masulgu@yandex.ru.*

### Abstract

Integrated ship combat management system as a complex open system represents a composition of components that use internal and external communication facilities intended for prescribed functions implementation.

Interoperability is the one of complex system characteristics, i.e. an ability of one or two information systems or its components to exchange information and use the information received as a result of exchange [GOST R 55062-2012. Information Technologies. Industrial Automation Systems and Integration. Interoperability. Basic Principles].

The subsystems being included into the interoperability system work with the use of independent algorithms. These subsystems do not have a unified control point. The whole control is determined by a unified standard set that is interoperability profile.

The interoperability of systems of different classes and purposes is testing with a variety of characteristics that determine the system attribute directly and indirectly.

The article presents FCMI-approach to evaluation of integrated ship combat management system interoperability on the basis of the fuzzy cognitive model with fuzzy logic tools in MATLAB environment.

The proposed approach assists the analysis and decision-making in not completely determined situations. The basis of the approach lies in modelling expert perceptions on testing interoperability of integrated ship combat management systems.

Integrated ship combat management system as a complex open system represents a composition of components that use internal and external communication facilities intended for prescribed functions implementation.

Key words: integrated ship combat management system, interoperability, cognitive model, hierarchy analysis method, fuzzy knowledge base, fuzzy cognitive map, fuzzy logic inference, FCMI-approach.

## ВВЕДЕНИЕ

Стандарт [1] характеризует класс подобных ИСБУ корабля как систем, в которых входящие в них подсистемы работают по единому алгоритму, т. е. имеют единую точку управления. Для реализации алгоритма используются внутренние (между подсистемами) и внешние интерфейсы (протоколы взаимодействия), что потенциально снижает уровень технических характеристик ИСБУ корабля.

При организации сложных открытых систем понятие интероперабельности включает следующие признаки:

- функционирование подсистем по независимым алгоритмам;
- отсутствие единого центра управления;
- реализация процессов управления согласованным набором стандартов, структурированном в терминах модели интероперабельности (профилем интероперабельности).

Согласно [1–3], достижение интероперабельности рассматривается как одна из главных задач, решаемых разработчиками сложных открытых систем, в том числе ИСБУ корабля.

В работах [2–7] интероперабельность оценивается прямо или косвенно через множество характеристик системы.

В других работах [8–13] раскрыто содержание методик принятия решений в слабоструктурированных областях с использованием экспертных оценок, которые могут быть применены для оценки интероперабельности систем.

Также для оценки применимы методы анализа иерархий [14]. При этом в теоретических основаниях метода анализа иерархий (МАИ) для решения многокритериальных задач выбора и ранжирования имеется ряд недостатков [15]. Один из них состоит в том, что шкалы, в которых осуществляется оценивание (измерение) степеней предпочтений вариантов по каждому из критериев, полагаются шкалами отношений, притом не связанными друг с другом и с приоритетами критериев. Это допущение в свете математической теории измерений (квалиметрии) неправомерно [15].

Кроме того, в МАИ нет общих правил для формирования структуры модели принятия решения, и поэтому формирование структуры модели принятия решения в МАИ достаточно трудоемкий процесс. Метод дает только способ ранжирования альтернатив, но не имеет внутренних средств для интерпретации рейтингов, т. е. считается, что лицо, принимающее решение (ЛПР), зная рейтинг возможных решений, должно, в зависимости от ситуации, сделать вывод. В рамках МАИ также нет средств для проверки достоверности данных. Это важный недостаток, ограничивающий возможности применения метода.

Для устранения этих недостатков в работах [16, 17] были предложены следующие методики:

- методика семантического расширения МАИ и методика анализа сетей (МАС) [16];
- методика объектно-семантического расширения иерархий и сетей [17].

В первой анализируются проблемы, возникающие при применении МАИ и МАС для построения моделей выбора альтернатив в многокритериальных задачах принятия решений, рассматривается концепция семантического расширения иерархических и сетевых моделей, основанная на формализованном представлении предметной области (ПрО) и связанных с ней задач выбора в виде семантической модели, применение которой дает возможность автоматизации формирования моделей принятия решений.

Во второй предлагается методика объектно-семантического расширения методов принятия решений в управлении предприятием, основанная на построении семантической модели ПрО задачи принятия решения, отражающей основные ее понятия и элементы в терминах процессов принятия решений, характерных для данной области, с формализованным описанием взаимосвязей между ними, а также методов их задания и обработки.

Обобщая анализ перечисленных публикаций, оценку ИСБУ корабля по критерию «интероперабельность» целесообразно рассматривать как задачу принятия решений на основе некоторой интеллектуальной системы принятия решений (ИСПР), где ИСПР – компьютерная система, позволяющая ЛПР сочетать собственные субъективные предпочтения с компьютерным анализом ситуации по оценке интероперабельности на основе теории принятия решений. Подобная ИСПР должна иметь возможность адаптироваться к изменению вычислительных моделей, также иметь интерфейс для взаимодействия с пользователем на языке ПрО (в идеале на естественном).

## 1 ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ ИСБУ КОРАБЛЯ

Рассматриваемый FСMI-подход (от Fuzzy, Cognitive, Map, Interoperability – нечеткость, когнитивность, карта, интероперабельность) к оценке интероперабельности ИСБУ корабля, используя достоинства вышеназванных методов в сочетании друг с другом, преодолевает их недостатки.

Теоретической основой FСMI-подхода является последовательное «расширение, уточнение и привязка» методов, представленных в таблицах 1, 2, для принятия решений по оценке интероперабельности ИСБУ корабля.

Суть FСMI-подхода состоит в том, что экспертная оценка на основе нечеткой когнитивной модели представляет взаимосвязь и взаимное влияние основных характеристик (свойств) ИСБУ корабля с характеристикой интероперабельности. Нечеткая когнитивная модель основана на формализации причинно-следственных связей между характеристиками (свойствами) исследуемой системы. Результатом формализации является представление системы в виде причинно-следственной сети, называемой нечеткой когнитивной картой.

Эволюция экспертных оценок привела к необходимости интеграции количественных и лингвистических оценок для целей уменьшения субъективной составляющей в операциях экспертного оценивания. В [19] определяется нечеткая экспертная оценка как:

Таблица 1

Содержание методик оценки интероперабельности систем

Методики оценки интероперабельности	Содержание методик
Методика формализованной оценки интероперабельности [4]	Подход к комплексной качественной и количественной оценке интероперабельности, степень достижения интероперабельности, качественные и количественные характеристики интероперабельности
Методика по применению нечеткого логического вывода (НЛВ) и МАИ для оценки интероперабельности информационных систем [5]	Интегрированная оценка характеристик интероперабельности на основе нечетких множеств в сочетании с другими методами
Методика количественной оценки интероперабельности [6]	Наборы показателей и варианты шкал для оценки интероперабельности сложных систем, механизм решения задач количественной оценки интероперабельности на основе нечеткой модели с учетом весов влияющих характеристик

Таблица 2

Содержание методик принятия решений в слабоструктурированных областях с использованием экспертных оценок

Методики	Содержание
Методология когнитивного моделирования [8, 9]	Теория и практика нечеткого когнитивного моделирования
Методика нечеткой экспертной оценки и применения положений по НЛВ [12, 13]	Нечеткая экспертная оценка, наличие общих черт, присущих различным вербальным шкалам, позволяет выделить общую структуру шкал для значений лингвистической переменной. Теория НЛВ
Методики расширения иерархий и сетей [16, 17]	Методика семантического расширения МАИ и МАС. Методика объектно-семантического расширения иерархий и сетей
Методика структуризации и формализации Пр0 [18]	Объектно-ориентированные методы анализа, структуризации и формализации Пр0

$F\_Mr = F\_Mark(X, Y, VK, S, MK)$ ,  
 где  $X$  – оцениваемая величина субъектом  $Y$ ;  
 $VK$  – выбранный формальный критерий (например, надежность);  
 $S$  – известная нечеткая шкала градаций критерия, выраженная в виде лингвистической переменной;  
 $MK$  – метод оценивания на основе операции приведения к нечеткости (фаззификации).  
 Каждая градация этой шкалы есть нечеткое множество (терм), представленное тройкой  $\langle Name, W, MF \rangle$ ,  
 где  $Name$  – лингвистическая оценка (название градации);  
 $W$  – носитель градации (может быть представлен множеством действительных чисел или множеством лингвистических термов);  
 $MF$  – функция принадлежности, определенная на  $W$ , сопоставляющая каждому значению  $X \in W$  значение из диапазона  $[0, 1]$ .  
 Степень субъективности оценки  $F\_Mr$  определяется ролью эксперта при идентификации всех компонент оценки.

Расширенное формальное описание ( $Fr$ ) процесса экспертного оценивания интероперабельности ИСБУ корабля представим короткежем:

$Fr = \langle MM, X, Y, VKI, S, FCMI \rangle$ ,  
 где  $MM$  – концептуальная модель задачи поддержки принятия решения по оценке интероперабельности ИСБУ корабля;  
 $X$  – оцениваемая величина ИСБУ корабля субъектом (экспертом)  $Y$ ;  
 $VKI$  – выбранный формальный критерий (интероперабельность);  
 $S$  – известная нечеткая шкала градаций критерия, выраженная в виде лингвистической переменной. Каждая градация этой шкалы есть нечеткое множество (терм), представленное тройкой  $\langle Name, T, FM \rangle$ ,  
 где  $Name$  – лингвистическая оценка (название градации);  
 $T$  – носитель градации (представлен множеством лингвистических термов);  
 $FM$  – функция принадлежности, определенная на  $T$ , сопоставляющая каждому значению  $X \in T$  значение из диапазона  $[0, 1]$ ;  
 $FCMI$  – интегрированный подход оценки интероперабельности, представленный четверткой  $\langle Fs, FCM, Fz, St \rangle$ ,  
 где  $FCM$  – FuzzyCognitiveMap (нечеткая когнитивная карта) как результат оценки влияния факторов (харак-

теристик ИСБУ корабля) на интероперабельность ИСБУ корабля;

*Fs* – Fuzzyset – оценивание на основе операции приведения к нечеткости (фаззификации) показателей интероперабельности и факторов (характеристик ИСБУ корабля), влияющих на интероперабельность ИСБУ корабля;

*Fz* – нечеткий вывод по Мамдани в среде MATLAB;

*St* – описание структуры ИСБУ корабля и на ее основе уровней взаимодействия подсистем – уровней интероперабельности.

## 2 КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ИНТЕРОПЕРАЕЛЬНОСТИ ИСБУ КОРАБЛЯ

В основе концептуальной модели задачи поддержки принятия решения по оценке интероперабельности ИСБУ корабля лежит двухкомпонентная модель (рис. 1) принятия решений, предложенная в работе [20].



Рис. 1. Двухкомпонентная модель принятия решений по оценке интероперабельности ИСБУ корабля

Компонент «Дескриптор этапа» включает семантическую модель ПрО «принятия решений по оценке интероперабельности ИСБУ корабля», имеет на входе множество  $D$  и на выходе множество  $W$ . Компонент «Процессор этапа» на основе данных «Дескриптора этапа» инициализирует процесс принятия решений по оценке интероперабельности, имеет на входе множество  $W$  и на выходе множество  $R$ . Поскольку в рамках одной ПрО «оценка интероперабельности ИСБУ корабля» может решаться множество различных задач принятия решений по выбору наилучшего, связанного с минимизацией нечеткого логико-алгебраического представления объектов ПрО «оценка интероперабельности ИСБУ корабля», множество  $MM$  может быть формально представлено в виде кортежа:

$$MM = \langle D, R, W, RZ \rangle,$$

где  $D$  – модели ПрО, характеризующие множество взаимодействующих ПрО, состоящие из модели шаблона элемента и модели шаблона связи между элементами, модели шаблона критерия и модели шаблона альтернативы;

$R$  – процессуальная модель;

$W$  – модель качества полученных результатов;

$RZ$  – результат решения.

Формальное описание множества  $D$  представим в виде тройки:

$$D = \langle D1, D2, D3 \rangle.$$

$$D1 = \langle E_i, R_E \rangle,$$

где  $E_i = \langle E_1, E_2, \dots, E_p \rangle$  – множество элементов, отражающих понятия ПрО «оценка интероперабельности ИСБУ корабля» (характеристики свойств ИСБУ корабля как факторы их взаимовлияния), в том числе таких, как:

- *общесистемные свойства*: целостность, устойчивость, наблюдаемость, управляемость, детерминированность, открытость, динамичность и др.;

- *структурные свойства*: состав, связность, организация, сложность, масштабность, пространственный размах, централизованность, объем и др.;

- *функциональные (поведенческие) свойства*: результативность, ресурсоемкость, оперативность, активность, мощность, мобильность, производительность, быстроедействие, готовность, работоспособность, точность, экономичность и др.;

$R_E$  – отношение, задающее тип и силу (степень) связи (взаимовлияния) между элементами (характеристиками ИСБУ корабля) в нечеткой когнитивной карте.

Формально связь  $R_E$  может быть задана в виде шаблона  $R_E^{sh}$ :

$$R_E^{sh} = \langle N_R, T_R, E_{RS}, E_{RD}, S_R \rangle,$$

где  $N_R$  – имя связи;

$T_R$  – тип связи (причинно-следственная связь в нечеткой когнитивной карте);

$E_{RS}, E_{RD}$  – элементы, между которыми установлена связь (характеристики);

$S_R$  – сила (степень) связи, оцениваемая лингвистически и отраженная в нечетких правилах вывода.

Значение силы связи  $S_R$  зависит от вида ее отношения (определяется экспертом и оценивается лингвистически).

Каждый элемент  $E_i$  представлен шаблоном  $E_i^{sh}$ :

$$E_i^{sh} = \langle N_E, D_E, P_E, R_E \rangle,$$

где  $N_E$  – имя элемента;

$D_E$  – форма детализации элемента;

$P_E$  – правила синтеза обобщенной оценки;

$R_E$  – список связи с подчиненными элементами.

$D2$  представим в виде:

$$D2 = \langle FM^{SH}, Fz^{sh}, Fd^{sh}, KR^{sh} \rangle,$$

где  $FM^{SH}$  – шаблон модели оценки характеристик;

$Fz^{sh}$  – шаблон модели нечеткого вывода;

$Fd^{sh}$  – шаблон синтеза обобщенной оценки;

$KR^{sh}$  – шаблон корректности решения.

$D3$  представим в виде:

$$D3 = \langle A^{sh}, U^{sh}, Kr^{SH} \rangle,$$

где  $A^{sh}$  – шаблон отбора альтернатив;

$U^{sh}$  – шаблон анализа устойчивости решения;

$Kr^{SH}$  – шаблон выбора решений в MATLAB.

Множество  $R$  включает:

$$R = \langle Fz, Mk, RM, Fs, Fd, Al \rangle,$$

где  $Fz$  – нечеткие продукционные правила, определяющие причинно-следственные отношения в нечеткой когнитивной карте, заданные в виде шаблона  $Fz^{sh}$  (рис. 2).

Методология когнитивного моделирования, предназначенная для анализа и принятия решений в плохо определенных ситуациях, основана на моделировании субъективных представлений экспертов о ситуации и включает:

- методологию структуризации ситуации в виде знакового ориентированного графа (когнитивной карты<sup>1</sup>);
- системы когнитивного моделирования<sup>2</sup> [8, 9].

Дополнительно к этому Б. Коско [21–23] ввел нечеткие когнитивные карты (Fuzzy, Cognitive, Map (FCM)). В зависимости от интерпретаций и решаемых задач рассматриваются различные модификации FCM. В общем случае FCM – это взвешенный ориентированный граф, в котором, как и в знаковом графе, вершины представляют факторы (концепты), а ребра – связи между факторами, которые интерпретируются как причинно-следственные (каузальные) связи. Веса ребер – это значения из некоторой лингвистической шкалы, например, типа {малый, средний, большой, очень большой}, которые характеризуют силу влияния соответствующей связи либо (в некоторых интерпретациях) степень уверенности в наличии этой связи.

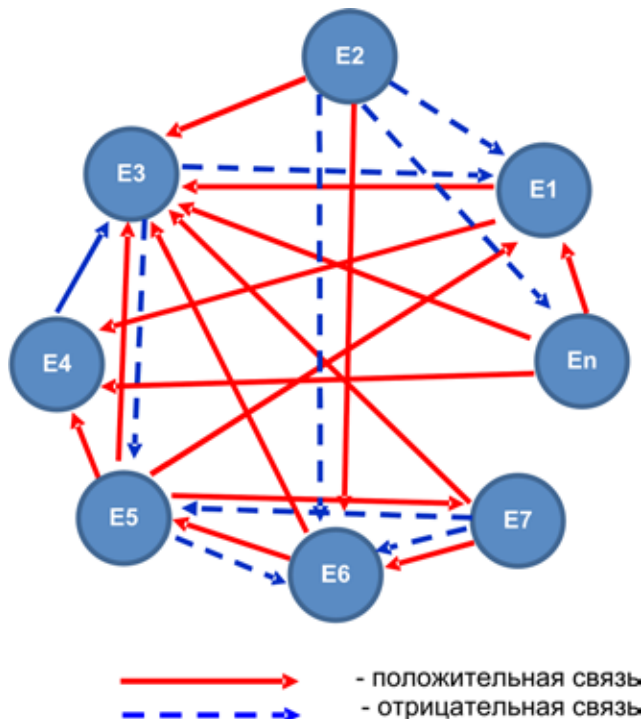


Рис. 2. Пример. Нечеткая когнитивная карта оценки интероперабельности автоматизированной системы

1 Основными элементами когнитивного моделирования являются когнитивные карты, в состав которых входят базисные факторы (или просто факторы) и причинно-следственные связи между ними.

2 Системы когнитивного моделирования «Канва», «Космос», «Курс», «Игла» и др. используют когнитивные карты для концептуального анализа и моделирования сложных и плохо определенных ситуаций, принятия решений в слабоструктурированных системах [9, 10].

Существенным обобщением когнитивной карты является модель нечетких когнитивных карт, для описания влияний между концептами в которых используются нечеткие продукционные правила (Rules Based Fuzzy Cognitive Maps – нечеткие когнитивные карты, основанные на правилах) [24].

Нечеткое когнитивное моделирование позволяет на качественном уровне:

- провести анализ взаимовлияния факторов, определяющих свойства ИСБУ корабля;
- выявить варианты взаимовлияния факторов, определяющих свойства ИСБУ корабля в виде системы нечетких правил вывода с учетом последствий принятия решений и их сравнения.

$Mk$  – модель задачи поддержки принятия решения по оценке интероперабельности ИСБУ корабля;

$RM$  – решающая модель, в рамках которой осуществляется синтез обобщенных оценок предпочтительности на основе: нечеткой модели лингвистических оценок характеристик, функции принадлежности, определяющей такую оценку, модели нечеткого вывода по Мамдани, модели синтеза обобщенной оценки (дефаззификация);

$Fs$  – нечеткая модель оценки характеристик ИСБУ корабля (в виде функций принадлежности), заданная в виде шаблона  $Fs^{sh}$ ;

$Fd$  – модель синтеза обобщенных оценок (фазификация) в среде MATLAB, заданная в виде шаблона  $Fd^{sh}$ ;

$Al$  – модель создания множества альтернатив в среде MATLAB, заданная в виде шаблона  $Al^{sh}$ .

Множество  $W$  содержит:

$$W = \langle Us, Kr, K1_{\partial l} \rangle,$$

где  $Us$  – модель анализа устойчивости решения, заданная в виде шаблона  $Us^{sh}$ ;

$Kr$  – модель выбора рационального решения, заданная в виде шаблона  $Kr^{sh}$ ;

$K1_{\partial l}$  – модель оценки качественного и экономического эффектов от FCM-подхода, заданная в виде шаблона  $K1_{\partial l}^{sh}$ .

Обобщая изложенное выше, представим концептуальную модель задачи поддержки принятия решения по оценке интероперабельности ИСБУ корабля (рис. 3).

Подробное содержание этапов (задач) принятия решений по оценке интероперабельности ИСБУ корабля на основе концептуальной модели приведено далее.

### 3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ИНТЕРОПЕРАЕЛЬНОСТИ ИСБУ КОРАБЛЯ

На основе FCM-подхода последовательно представим задачи в следующих этапах принятия решений по оценке интероперабельности ИСБУ корабля (табл. 3):

- Этап 1. Извлечение и представление знаний.
- Этап 2. Структуризация и формализация ПрО «оценка интероперабельности ИСБУ корабля».
- Этап 3. Реализация нечеткой базы знаний в среде MATLAB.

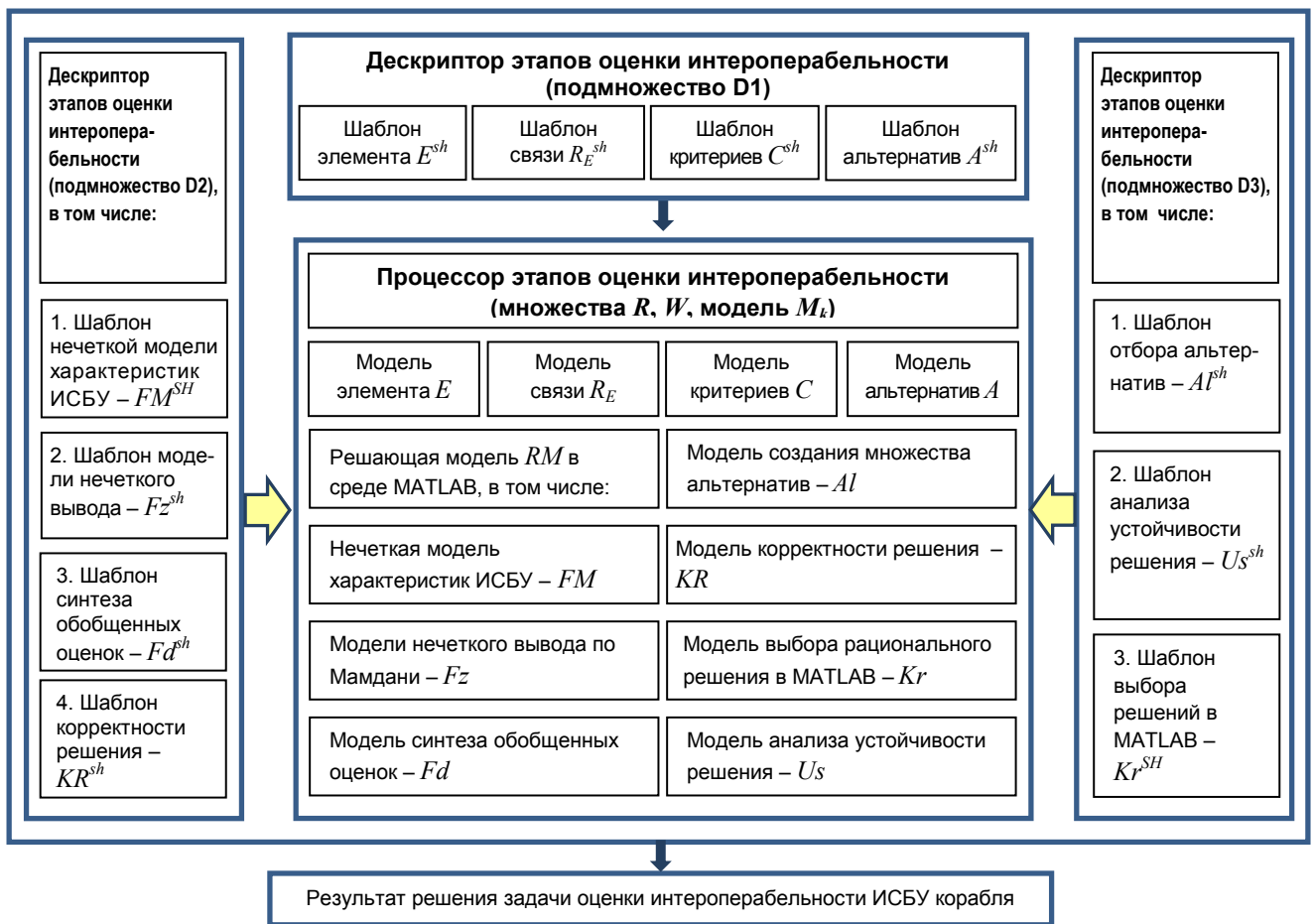


Рис. 3. Концептуальная модель задачи поддержки принятия решения по оценке интероперабельности ИСБУ корабля

Этап 4. Принятие решения и оценка корректности и устойчивости решения.

Перечень заинтересованных лиц, приведенных в таблице 3, включает следующих субъектов:

- эксперт – специалист, выдающий квалифицированное заключение или суждение по вопросу, рассматриваемому или решаемому другими людьми, менее компетентными в этой области,
- когнитолог – специалист, владеющий методами и инструментами извлечения, представления знаний и их реализации в среде MATLAB.
- пользователь – лицо, которое использует действующую систему для выполнения конкретной функции. В качестве пользователя может также выступать эксперт с более низкой квалификацией.

Структуризация и формализация ПрО «оценка интероперабельности ИСБУ корабля» выполняется на основе объектно-структурного анализа (ОСА) [17].

В основе ОСА заложен алгоритм заполнения матрицы  $E_{mn}$  (табл. 4). Алгоритм ОСА содержит последовательность процедур, позволяющих упростить и оптимизировать процесс структуризации, и обеспечивает:

- глобальный анализ, включающий разбиение ПрО (оценка интероперабельности ИСБУ корабля) на методологические страты ( $S_1-S_{14}$ ) на уровне  $U_1$  интеропера-

бельности. В результате заполняется первый столбец матрицы;

- детальный анализ многоуровневых ( $U_1-U_n$ ) структур по отдельным стратам ( $S_1-S_m$ ), в результате заполняются ячейки матрицы  $E_{mn}$ .

Знания и опыт разработчиков ИСБУ корабля играют значительную роль в процессах принятия решений, особенно в условиях многокритериальности и неопределенности, связанной с оценкой интероперабельности ИСБУ корабля. После углубленного анализа цели в оценивании интероперабельности ИСБУ корабля пользователи совместно с когнитологами в MATLAB проводят наработку альтернатив. Выбор наилучшей альтернативы выполняется по критерию  $C_j$ .

Анализ и отбор рационального решения осуществляется на основе модели критериев. Модель критериев, определяющих уровень интероперабельности, порождается, в первую очередь, целями и видом альтернатив по шаблону  $C_j$ . Обобщенно шаблон  $C_j$  можно представить в следующем виде:

$$C_j = \langle N_C, T_C, S_C, L_C \rangle_j,$$

где  $N_C$  – название (имя) критерия;

$T_C$  – тип критерия (количественный или качественный);

Таблица 3

Содержание этапов создания нечеткой базы знаний и принятия решений на ее основе по оценке интероперабельности ИСБУ корабля

Этапы создания нечеткой базы знаний и принятия решений на ее основе по оценке интероперабельности ИСБУ корабля	Заинтересованные лица	Задачи выполнения этапов (определяемые шаблонами)
Извлечение и представление знаний	Эксперт, когнитолог	Вербальное описание проблемы оценки интероперабельности. Формальное описание цели. Определение основных характеристик (свойств) ИСБУ корабля в виде семантической модели, состоящей из модели шаблона элемента и модели шаблона связи между элементами, модели шаблона критерия и модели шаблона альтернативы. Нечеткая когнитивная карта
Структуризация и формализация ПрО «оценка интероперабельности ИСБУ корабля»	Эксперт, когнитолог	Структуризация и формализация ПрО «оценка интероперабельности ИСБУ корабля» на основе ОСА
Реализация нечеткой базы знаний в среде MATLAB	Когнитолог	Реализация нечеткой модели оценки характеристик ИСБУ корабля (в виде функций принадлежности), модели нечеткого вывода по Mamdani (нечеткая база знаний), модели синтеза обобщенных оценок (фаззификации) в среде MATLAB. Создание множества альтернатив в среде MATLAB
Принятие решения и оценка корректности и устойчивости решения	Пользователь, когнитолог	Разработка модели выбора рационального решения в среде MATLAB. Разработка модели анализа устойчивости решения. Разработка модели корректности решения

$S_C$  – шкала оценки (для числовых критериев);

$L_C$  – лингвистическая переменная (для качественных критериев).

Например, модель критериев интероперабельности, формируемая по шаблону  $C_p$ , будет определяться следующим соотношением:

1. Имя критерия  $N_C$  – это «уровень интероперабельности  $K_{эи}$ , заданный в техническом задании» и «достигнутый уровень интероперабельности на этапах проектирования, разработки и создания ИСБУ корабля –  $K_{эи}$ »:

$$K_{эи}^d = K_{эи} - \Delta K_{ои}$$

где  $\Delta K_{ои}$  – отклонения проекта ИСБУ корабля по показателю интероперабельности.

2. Тип критерия  $T_C$  количественный (дефаззифицированный).

Выбирается альтернатива, в которой  $\Delta K_{ои}$  минимален.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

ФСМИ-подход основан на использовании нечеткой когнитивной модели взаимосвязи нечетких характеристик ИСБУ корабля с основной нечеткой характеристикой интероперабельности и обеспечивает методическую поддержку процессов оценки интероперабельности, реализуемых в среде MATLAB.

В предлагаемой методике последовательно описаны задачи на этапах принятия решений по оценке интероперабельности ИСБУ корабля. Методика позволяет выбрать из множества альтернатив наиболее приемлемый вариант ИСБУ корабля с точки зрения интероперабельности. Ме-

тодика апробирована при решении ряда задач [23, 25], может быть полезной в период разработки архитектуры ИСБУ корабля, на начальных этапах проектирования и при оценке полученных результатов на завершающих этапах.

ФСМИ-подход отвечает инновационным направлениям информатики по обеспечению интероперабельности автоматизированных систем различного класса и назначения (управление знаниями, нечеткие гибридные системы, виртуальные организации, сервисно-ориентированные технологии, многоагентные системы, онтологический ин-

Таблица 4

Матрица ОСА ПрО «оценка интероперабельности ИСБУ корабля»

Уровни страты	Уровень интероперабельности				
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	...	$U_n$
$S_1$	$E_{11}$	$E_{12}$	$E_{13}$		$E_{1n}$
$S_2$	$E_{21}$				
$S_3$	$E_{31}$				
$S_4$	$E_{41}$				
$S_5$	$E_{51}$				
$S_6$	$E_{61}$				
$S_7$	$E_{71}$				
$S_8$	$E_{81}$				
.....					
$S_m$	$E_{m1}$	$E_{m2}$	$E_{m3}$		$E_{mn}$



жиниринг, облачные вычисления т. д.), влияющим на проектирование и разработку ИСБУ корабля и выводящим их технологии на высокие уровни технологической зрелости.

Реализация FСMI-подхода обеспечивает снижение затрат на разработку исполнений ИСБУ корабля для различных проектов за счет преемственности и унификации решений, облегчает наращивание функций и, как следствие, повышает модернизационные возможности ИСБУ корабля в результате перестройки методической, нормативной и инструментальной основы проектирования и создания системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии. Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2014.
- Куприянов А.А. Аспекты интероперабельности автоматизированных систем // Автоматизация процессов управления. – 2009. – № 4 (18). – С. 40–49.
- Бородакий Ю.В., Лободинский Ю.Г. К проблеме обеспечения интероперабельности // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2009. – № 5. – С. 16–24.
- Петров А.Б., Стариковская Н.А. Методика сравнительной оценки интероперабельности информационных систем // Информационные технологии и вычислительные системы. Спец. выпуск. Открытые системы. Интероперабельность. – М. : ИМВС РАН, 2009. – № 5. – С. 82–90.
- Королев А.С. Применение нечеткого логического вывода и метода анализа иерархии для оценки интероперабельности информационных систем // Стандартизация информационных технологий и интероперабельность : матер. четвертой Всерос. конф. – М. : ИПЭ им. В.А. Котельникова, 2010. – С. 17–18.
- Батоврин В.К., Королев А.С. Способ количественной оценки интероперабельности // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2009. – № 5. – С. 91–95.
- Гуляев Ю.В, Журавлев Е.Е., Олейников А.Я. Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса // Журнал радиоэлектроники. – 2012. – № 3. – С. 7–15.
- Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоконструктурированными системами (ситуациями). – URL: <http://uran.donetsk.ua/~masters/2010/fknt/andriichenko/library/article6.pdf>.
- Кулинич А.А. Компьютерные системы моделирования когнитивных карт: подходы и методы // Проблемы управления. – 2010. – № 3. – С. 2–16.
- Коростелёв Д.А., Лагереv Д.Г., Подвесовский А.Г. Система поддержки принятия решений на основе нечетких когнитивных моделей «ИГЛА». – URL: <http://studdoc.ru/docs/6/index-7515.html>.
- Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / И.З Батыршин [и др.] ; под ред. Н.Г. Ярушкиной. – М. : Физматлит, 2007. – 208 с.
- Ярушкина Н.Г. Автоматизированное проектирование сложных технических систем в условиях неопределенности : дисс. ... д-ра. техн. наук. – Ульяновск : УлГТУ, 1998.
- Ярушкина Н.Г., Афанасьева Т.В., Перфильева. И.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов : учеб. пособие. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 320 с.
- Методы анализа иерархий: особенности применения, достоинства и недостатки. – URL: <http://www.allbest.ru>.
- Подиновский В.В., Подиновская О.В. О некорректности метода анализа иерархий // Проблемы управления. – 2011. – № 1. – С. 8–13.
- Аверченков В.И., Подвесовский А.Г., Брундасов С.М. Семантическое расширение иерархических и сетевых моделей принятия решений // Информационные технологии. – 2004. – № 1. – С. 2–10.
- Зазулин А.В., Кострова В.Н. Использование объектно-семантической модели в информационной системе поддержки принятия управленческих решений // Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах : тр. Всерос. конф. – Воронеж : ВГТУ, 2007. – С. 149–150.
- Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.
- Ярушкина Н.Г. Методы нечетких экспертных систем в интеллектуальных САПР. – Саратов : изд-во Саратов. ун-та, 1997. – 107 с.
- Подход к созданию экспертных систем морского мониторинга / Смагин А.А. [и др.] // Автоматизация процессов управления. – 2008. – № 4 (14). – С. 47–52.
- Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – Vol. 1. – pp. 65–75.
- Dickerson J., Kosko B. Virtual Worlds as Fuzzy Dynamic Systems // Technology for Multimedia. – New York, IEEE Press, 1998. – pp. 567–603.
- Aguilar J.A. Dynamic Fuzzy-Cognitive-Map Approach Based on Random Neural Networks // International Journal of Computational Cognition. – 2002. – Vol. 1, № 4. – pp. 91–107.
- Методика оценки интероперабельности АС в среде MATLAB / Куприянов А.А [и др.] // Ученые записки Ульяновского государственного университета. Сер. Математика и информационные технологии / под ред. проф. О.А. Перегудовой. – Ульяновск : УлГУ, 2014. – Вып. 1(6). – С. 93–119.
- Куприянов А.А., Мельниченко А.С. FСMI подход оценки интероперабельности распределенных автоматизированных систем // Ученые записки Ульяновского государственного университета. Сер. Математика и информационные технологии / под ред. проф. О.А. Перегудовой. – Ульяновск : УлГУ, 2014. – Вып. 1(6). – С. 68–92.

## REFERENCES

1. GOST R 55062-2012. *Informatsionnye tekhnologii. Sistemy promyshlennoi avtomatizatsii i ikh integratsiia. Interoperabelnost. Osnovnye polozheniia* [Information Technologies. Industrial Automation Systems and Integration. Interoperability. Basic Principles]. Moscow, Standartinform Publ., 2014.
2. Kupriyanov A.A. Aspekty interoperabelnosti avtomatizirovannykh system [Aspects of Interoperability of Computer-Aided Systems]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2009, no. 4 (18), pp. 40–49.
3. Borodakii Yu.V., Lobodinskii Yu.G. K probleme obespecheniia interoperabelnosti [Referring to the Problem of Interoperability Enabling]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy* [Information Technologies and Computer Systems], 2009, no. 5, pp. 16–24.
4. Petrov A.B., Starikovskaia N.A. Metodika sravnitelnoi otsenki interoperabelnosti informatsionnykh system [Methodology for Comparative Analysis of Information System Interoperability]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy. Spetsialnyi vypusk. Otkrytye sistemy. Interoperabelnost* [Information Technologies and Computer Systems. Special Issue. Open Systems. Interoperability]. Moscow, IMVS RAN, 2009, no. 5, pp. 82–90.
5. Korolev A.S. Primenenie nechetkogo logicheskogo vyvoda i metoda analiza ierarkhii dlia otsenki interoperabelnosti informatsionnykh sistem [An Application of Fuzzy Logical Output and Hierarchy Analysis Method Intended to Evaluate the Interoperability of Information Systems]. *Standartizatsiia informatsionnykh tekhnologii i interoperabelnost. Mater. chetvertoi Vseros. konf.* [Information Technology Standardization and Interoperability. Proc. 4th Russian Conf.]. Moscow, V.A. Kotelnikov IRE Publ., 2010, pp. 17–18.
6. Batovrin V.K., Korolev A.S. Sposob kolichestvennoi otsenki interoperabelnosti [The Method of Quantitative Evaluation of Interoperability]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy* [Information Technologies and Computer Systems]. 2009, no. 5, pp. 91–95.
7. Gulyaev Yu.V., Zhuravlev E.E., Oleynikov A.Ya. Metodologiya standartizatsii dlia obespecheniia interoperabelnosti informatsionnykh sistem shirokogo klassa [The Methodology of Standardization for Address the Interoperability of Information Systems of Broad Classes]. *Zhurnal radioelektroniki* [Journal of Radioelectronics], 2012, no. 3, pp. 7–15.
8. *Kognitivnoe modelirovanie dlia resheniia zadach upravleniia slabostrukturirovannymi sistemami (situatsiiami)* [Cognitive Modelling for Solving the Problems of Semi-Structured Systems Control (Situations)]. Available at: <http://uran.donetsk.ua/~masters/2010/fknt/andriichenko/library/article6.pdf>.
9. Kulnich A.A. Kompiuternye sistemy modelirovaniia kognitivnykh kart: podkhody i metody [Cognitive Maps Modelling Computer Systems. Approaches and Methods]. *Problemy upravleniya* [Control Sciences], 2010, no. 3, pp. 2–16.
10. Korostelev D.A., Lagerev D.G., Podvesovsky A.G. *Sistema podderzhki priniatiia reshenii na osnove nechetkikh kognitivnykh modelei "IGLA"* [Decision Support System on the Basis of "IGLA" Fuzzy Cognitive Models]. Available at: <http://studdoc.ru/docs/6/index-7515.html>.
11. Batyrshin I.Z. et al. *Nechetkie gibridnye sistemy. Teoriia i praktika* : pod red. N.G. Yarushkinoi [Fuzzy Hybrid Systems. Theory and Practice. Edited by N.G. Yarushkina]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2007. 208 p.
12. Yarushkina N.G. *Avtomatizirovannoe proektirovanie slozhnykh tekhnicheskikh sistem v usloviakh neopredelennosti*. Diss. dokt. tekhn. nauk [Computer-Aided Design of Complex Engineering Systems under Uncertainty. Dr. Eng. Sci. Diss.]. Ulyanovsk, ULSTU Publ., 1998.
13. Yarushkina N.G., Afanasieva T.V., Perfilieva. I.G. *Intellektualnyi analiz vremennykh riadov. Ucheb. posobie* [Intellectual Analysis of Time Series. Textbook]. Ulyanovsk, ULSTU Publ., 2010. 320 p.
14. *Metody analiza ierarkhii: osobennosti primeneniia, dostoinstva i nedostatki* [Methods for Hierarchy Analysis. Application Features, Advantages and Disadvantages]. Available at: <http://www.allbest.ru>.
15. Podinovski V.V., Podinovskaya O.V. O nekorrektnosti metoda analiza ierarkhii [On the Theoretical Incorrectness of the Analytic Hierarchy Process]. *Problemy upravleniya* [Control Sciences], 2011, no. 1, pp. 8–13.
16. Averbchenkov V.I., Podvesovsky A.G., Brundasov S.M. Semanticheskoe rasshirenie ierarkhicheskikh i setevykh modelei priniatiia reshenii [Semantic Extension of Hierarchical and Network Decision Models]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies], 2004, no. 1, pp. 2–10.
17. Zazulin A.V., Kostrova V.N. Ispolzovanie obiektno-semanticheskoi modeli v informatsionnoi sisteme podderzhki priniatiia upravlencheskikh reshenii [The Application of Semantic Object Models in Information Management Decision Support System]. *Intellektualizatsiia upravleniia v sotsialnykh i ekonomicheskikh sistemakh. Tr. Vseros. konf.* [Proc. Russian Conf. Management Intellectualization in Social and Economic Systems]. Voronezh, VGTU Publ., 2007, pp. 149–150.
18. Chastikov A.P., Gavrilova T.A., Belov D.L. *Razrabotka ekspertnykh sistem. Sreda CLIPS* [Expert System Design. CLIPS-Environment]. St. Petersburg, BKHV-Peterburg Publ., 2003. 608 p.
19. Yarushkina N.G. *Metody nechetkikh ekspertnykh sistem v intellektualnykh SAPR* [Methods for Fuzzy Expert Systems in Intellectual CAD-Systems]. Saratov, Saratov University Publ., 1997. 107 p.
20. Smagin A.A., Lipatova S.V., Rudkovsky Iu.A., Starostina A.V. Podkhod k sozdaniiu ekspertnykh sistem morskogo monitoringa [Approach to Creation of Sea Monitoring Expert Systems]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2008, no. 4 (14), pp. 47–52.
21. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 1986, vol. 1, pp. 65–75.
22. Dickerson J., Kosko B. Virtual Worlds as Fuzzy Dynamic Systems. *Technology for Multimedia*. New York, IEEE Press Publ., 1998, pp. 567–603.

23. Aguilar J.A. Dynamic Fuzzy-Cognitive-Map Approach Based on Random Neural Networks. *International Journal of Computational Cognition*, 2002, vol. 1, no. 4, pp. 91–107.

24. Kupriyanov A.A et al. Metodika otsenki interoperabelnosti AS v srede MATLAB [Methods for Automated System Interoperability Evaluation in MATLAB-Environment]. *Uchenye zapiski Ulyanovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Matematika i informatsionnye tekhnologii*. Pod red. prof. O.A. Peregudovoi [Ulyanovsk State University Memoirs. Mathematics and Information Technologies Series. Edited by Prof. O.A. Peregudova]. Ulyanovsk, ULSU Publ., 2014, iss. 1 (6), pp. 93–119.

25. Kupriyanov A.A., Melnichenko A.S. FCMI podkhod otsenki interoperabelnosti raspredelennykh avtomatizirovannykh sistem [FCMI-Approach to Evaluation the Interoperability of Distributed Automated Systems]. *Uchenye zapiski Ulyanovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Matematika i informatsionnye tekhnologii*. Pod red. prof. O.A. Peregudovoi [Ulyanovsk State University Memoirs. Mathematics and Information Technologies Series. Edited by Prof. O.A. Peregudova]. Ulyanovsk, ULSU Publ., 2014, iss. 1 (6), pp. 68–92.