

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 519: 331.101.1  
doi: 10.30987/2658-4026-2023-1-13-20

## Математическая модель интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах

Дмитрий Сергеевич Жадаев<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Бендерский политехнический филиал Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко; Бендеры, Приднестровская Молдавская Республика  
<sup>1</sup> zhadaevdmitrii@gmail.com

### Аннотация.

В статье рассмотрена проблема учета неопределенности информации для построения баз знаний в системах поддержки решений оперативного управления режимами электроэнергетических систем на примере энергосистеме Приднестровской молдавской республики. В рамках исследования статьи был использован категориальный метод «Универсальная схема взаимодействия», т.к. он позволяет составить концептуальную модель энергосистемах Приднестровской молдавской республики необходимую для дальнейшей разработки математической модели. Для создания математической модели интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах используем метод базы знаний СППР на основе нечеткой логики. Обосновано, что формулировка логики управления проводится, преимущественно, на уровне качественных представлений и понятий. Последние могут быть формализованы в виде логико-лингвистических моделей, которые должны рассматриваться с точки зрения теории нечетких множеств и лингвистических переменных. Проведен анализ существующих подходов к представлению и обработке нечетких знаний об управлении энергосистем. Обоснован подход к представлению инкорпорации различных форм репрезентации профессиональных онтологий на базе нечеткой логики. Методы исследования заключаются в использовании аппарата нечеткой логики, формальных языков, теории систем искусственного интеллекта и систем поддержки решений.

**Ключевые слова:** математическая модель, интеллектуальная система, управленческие решения, энергосистема, грамматика, лингвистическая переменная, онтология, метаправило, фазофикация,

**Для цитирования:** Жадаев Д.С. Математическая модель интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах // Эргодизайн. 2023. №1 (19). С. 13-20. <http://dx.doi.org/10.30987/2658-4026-2023-1-13-20>

Original article  
Open access article

## Mathematical model of intelligent support system for management decision-making in power systems

Dmitry S. Zhadaev<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution “Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko”; Bendery, the Pridnestrovian Moldavian Republic  
<sup>1</sup> zhadaevdmitrii@gmail.com

### Abstract.

The article considers the problem of taking into account the information uncertainty for building knowledge bases in decision support systems for the operational management of the electric power system modes on the example of the Pridnestrovian Moldavian Republic power system. As part of the study, the categorical method “Universal Interaction Scheme” is used, because it allows building a conceptual model of the Pridnestrovian Moldavian Republic power systems necessary for the further development of a mathematical model. To create a mathematical model of an intelligent management decision support system in power systems, the Decision-Support System knowledge base method based on fuzzy logic is used. It is substantiated that formulating the control logic is carried out mainly at the level of qualitative representations and concepts. The latter can be formalised in terms of logical-linguistic models, which should be considered from the viewpoint of the theory of fuzzy sets and

*linguistic variables. The analysis of existing approaches to representing and processing fuzzy knowledge about the power system management is carried out. An approach to demonstrating the incorporation of various forms of professional ontology representation based on fuzzy logic is substantiated. The research methods involve using the apparatus of fuzzy logic, formal languages, the theory of artificial intelligence systems and decision support systems.*

**Keywords:** mathematical model, intellectual system, management decisions, energy system, grammar, linguistic variable, ontology, metarule, phasification

**For citation:** Zhadaev D.S. Mathematical model of intelligent support system for management decision-making in power systems // Ergodizayn [Ergodesign], 2023, No. 1 (19). Pp. 13-20. Doi: 10.30987/2658-4026-2023-1-13-20.

## Введение

Сегодня становятся все более сложными задачи автоматизации управления современными энергосистемами в соответствии с усложнением их структур и бизнес-процессов. Многие технологические и бизнес-процессы невозможно формализовать математическим аппаратом приемлемого объема или в приемлемое время. Задачи управления сложными объектами во многом решаются на основе накопленного опыта руководителя – лица, принимающего решение (ЛПР). Методы, используемые ЛПР, являются приблизительными и опираются на знания в конкретной профессиональной сфере [1].

Особое значение приобретает оперативное управление сложными техническими объектами в темпе реальных технологических процессов. При аварийных или кризисных ситуациях острота проблемы оперативного управления значительно нарастает.

Возникает проблема интеллектуальной автоматизации управления. Для достижения максимального эффекта управления в качестве средств автоматизации используются системы поддержки принятия управленческих решений (СППР). Основной платформой, на которую опираются СППР, являются базы знаний (БЗ) профессиональных областей. Следовательно, актуальна задача разработки и внедрения в контуры автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) унифицированной, интегральной модели представления профессиональных онтологий [2].

Модели форм представления знаний и соответствующих им онтологий позволяют синтезировать и использовать БЗ в любых профессиональных областях.

Результат субъективизма источников знаний проявляется посредством их вероятностного характера, ненадежности, недостоверности, нечеткости. Важной проблемой при управлении сложными динамическими системами является формализация неопределенности, неточности и недостоверности исходной информации для принятия решений. Это обстоятельство естественно приводит к неточности и

недостоверности производимых управленческих решений. Поэтому вместе с инкорпорацией различных форм представления знаний в практических СППР обязательно должна решаться задача учета факторов недостоверности и неполноты исходных лингвистических характеристик проблемной ситуации [3,4].

Следовательно, необходима разработка механизмов фазификации моделей знаний в рамках иерархии онтологий знаний. Иерархия онтологий опирается на модель нижнего уровня атомарных высказываний, образующих концептуальный тезаурус. В связи с этим, учет неопределенности семантических концептов является базовой задачей при формировании моделей нечеткости всех уровней иерархии онтологий.

Значительный вклад в развитие теории и практики использования нечетких знаний внесли Заде Л. А., Башмаков И. А., Берштейн Л. С., Борисов А. Н., Исидзука М., Карелин В. П., Коровин С. Я., Ротштейн А. Любые представления знаний в большинстве случаев реализуются в лингвистически свободных формах и связаны с необходимостью учета субъективизма источников этих знаний [5].

Нечетко-множественный подход применяется в условиях неполноты информации об изучаемых явлениях или объектах. Нечеткая логика позволяет формализовать нечеткие экспертные знания, обычно выражающиеся в виде высказываний в терминах естественного языка или профессионального сленга. Формализация нечетких высказываний основывается на введении понятий нечеткой и лингвистической переменных, нечеткого безличия и нечеткого отношения [6-8]. Как вывод, можно констатировать, что в рассматриваемых работах предлагается рассматривать данные концепты как лингвистические переменные, значениями которых являются термы нечетких значений с характеристиками их недостоверности [9].

Цель статьи – разработка математической модели интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах Приднестровской молдавской республики.

Исходя из сформулированной цели, в работе поставлены следующие задачи:

– рассмотреть типологию интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах;

– разработать математическую модель интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах.

## 1. Методы

В рамках исследования статьи был использован метод «Универсальная схема взаимодействия», так как он позволяет составить концептуальную модель энергосистемах Приднестровской молдавской республики необходимую для дальнейшей разработки математической модели интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах. Для создания математической модели интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах используем метод БЗ СППР на основе нечеткой логики.

## 2. Результаты

Результатом цикла работы СППР являются нормативно-инструктивные материалы диспетчерского управления, полученные с уровней профессиональных онтологий БЗ, а также рекомендации управляющих корректирующих воздействий, их величин и направлений изменения.

В настоящее время существует огромное количество различных типов интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах: [экспертная система](#), [расчётно-логические системы](#), [гибридная интеллектуальная система](#), [рефлекторная интеллектуальная система](#) и др.

Можно констатировать, что почти во всех интеллектуальных системах поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах основной компонент их архитектуры базы знаний представляет собой основанную на правилах базу данных. Однако существуют и СППР на основе нечеткой логики, имеющие табличнооцифрованную базу знаний. СППР на основе нечеткой логики различают не только по структуре БЗ, но и по способу ее проектирования, получения из нее информации и дальнейшей обработки этой информации.

Для создания математической модели интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в

энергосистемах используем метод БЗ СППР на основе нечеткой логики.

В рамках исследования статьи был использован категориальный подход «Универсальная схема взаимодействия», т.к. он позволяет составить концептуальную модель энергосистемы Приднестровской молдавской республики необходимую для дальнейшей разработки математической модели – рис. 2 [10-11]:

1. Эффект (цель) - это энергетическая безопасность региона.

2. Взаимосвязи (задачи для достижения цели (эффекта)):

- поддержание баланса между количеством производимой и потребляемой мощности в энергосистеме;

- надежность электроснабжения;

- синхронность работы электростанций в пределах энергосистемы;

- синхронность работы энергосистемы страны (республики ПМР) с энергосистемами смежных стран.

3. Взаимодействие - это реакция оперативно-диспетчерского персонала: скорость реакции интеллектуальной системы поддержки принятия решений, может быть правильность решения.

4. Результат взаимодействия - своевременное устранение аварийных режимов работы и др.

5. Источник (ресурс) - интеллектуальная система поддержки принятия управленческих решений в энергосистеме региона.

Введем общий подход к фазофикации концептов БЗ, опираясь на известные методики [9 – 11]. Будем считать множество всех концептов (атомарных лексических единиц)

$$S = \{s_k / k = 1, n_s\} \quad (1)$$

множеством-универсумом лингвистических переменных [10, 12, 13]. То есть (2)

$$\forall (s_k / s_k \in S) : s_k = \langle \beta_k, T_k, X_k, G, M \rangle, \quad (2)$$

где  $\beta_k$  – наименование  $k$ -ой лингвистической переменной;

$T_k$  – терм-множество лингвистической переменной, представляющее собой множество наименований нечетких значений лингвистической переменной;

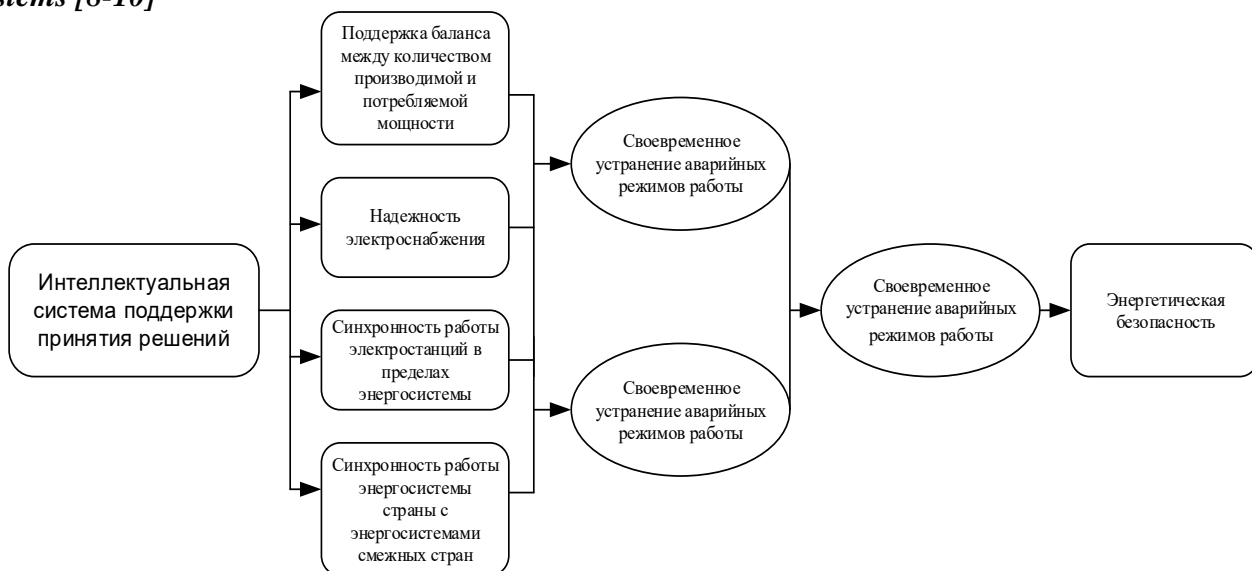
$X_k$  – область определения (универсум) нечетких значений лингвистической переменной  $\beta_k$ ;

$G$  – синтаксическая процедура генерирования в заданном контексте новых значений лингвистической переменной  $\beta$ ;

М — семантическая процедура формирования нечеткого множества.



**Рис. 1. Основные классификации типологий интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах [8-10]**  
*Fig. 1. Basic classifications of typologies of intelligent management decision support systems in power systems [8-10]*



**Рис. 2. Простая универсальная модель взаимосвязи элементов процесса интеллектуальной поддержки принятия решений в энергосистеме Приднестровской молдавской республики**  
*Fig. 2. A simple universal model of the interconnection of the elements of the intellectual decision support process in the energy system of the Pridnestrovian Moldavian Republic*

Однако, в заданном отдельном контексте профессиональной области —  $c_i, c_i \in C$  — для подмножества  $S^{C_i} \subset S$  — лингвистических переменных можно также выделить

подмножество концептов, образующих термподмножество нечетких значений —  $S^{C_i} \subset S$  — для каждой лингвистической переменной из подмножества  $S^{C_i}$ . Тогда лингвистическую

переменную предлагается представлять в следующем виде:

$$\forall S^{Ci} \exists S_T^{Ci} (S^{Ci} \subset S, S_T^{Ci} \subset S, S^{Ci} \cap S_T^{Ci} = \emptyset):$$

$$< S_k^{Ci}, S_T^{Ci}, X_k, G, M >$$

где  $S_k^{Ci} \in S^{Ci}$ .

В данной формальной системе элементы термодмножества  $S_T^{Ci}$  могут рассматриваться как идентификаторы подмножества значений, характеризующих предметную область задачи. Следовательно, подмножество термов  $S_T^{Ci}$  может рассматриваться в качестве множества значений лингвистической переменной  $S_k^{Ci}$  и, следовательно, образует класс ее значений или тип. Поэтому, следуя, например, синтаксису языка программирования С можно записать [13]:

$$S_T^{Ci} S_k^{Ci}; (4)$$

В свою очередь, как было отмечено ранее,  $S_T^{Ci} \subset S$  – терм-подмножество нечетких значений лингвистической переменной и  $S_k^{Ci} \in S^{Ci} \subset S$

$$S_T^{Ci} = \{S_{Tk}^{Ci} | j = 1, m_T\}, (5)$$

где  $S_{Tk}^{Ci}$  – нечеткая переменная.

Согласно определению нечеткой переменной по отношению к разработанной модели БЗ напомним [10, 13 – 16]

$$S_{Tk}^{Ci} = \{S_{Tk1}^{Ci} | \mu_X(S_{T1}^{Ci}), S_{Tk2}^{Ci} | \mu_X(S_{T2}^{Ci}), \dots, S_{Tkn}^{Ci} | \mu_X(S_{Tn}^{Ci})\} (9)$$

$$S_{Tk}^{Ci} = \{(S_{Tkj}^{Ci} | \mu_X(S_{Tj}^{Ci})) | j = 1, n\},$$

$$S_{Tk}^{Ci} = O_{id}(S_k^{Ci}), S_T^{Ci}, X_k, G, M >$$

Для фазификации тезауруса атомарных концептов в пути построения функций принадлежности могут использоваться существующие методы [10, 14].

Рассмотрим разработку модели фазификации представления онтологий уровня метазнаний в условиях неопределенности. О метаправилах можно говорить, как о модулях нечеткого управления по отношению к БЗ.

Иными словами, должна решаться основная задача о возможности применения метаправила в условиях неопределенности. Это обстоятельство требует ввода в структуру метаправила модуля пороговой чувствительности или активизации метаправила. Неопределенность консеквента метаправила интересна не точным результатом, а предельным значением сигнала для запуска метаправила. Для решения вопроса о запуске метаправила агрегированные входные величины нечетких сигналов должны отфильтровываться исходной пороговой функцией чувствительности метаправила –  $MR$ .

$$S_{Tk}^{Ci} = \alpha, X, \{x | \mu_A(x)\} > (6)$$

В данном выражении принято, что в практической системе применяется операция именования (идентификации) нечетких переменных

$$O_{id}: S_{Tk}^{Ci} \rightarrow \alpha (7)$$

Если же в качестве имен нечетких переменных использовать их лексические выражения, то

$$S_{Tk}^{Ci} = S_{Tk}^{Ci}, X, \{x | \mu_A(x)\} > (8)$$

Принятая в работе схема фазификации тезауруса атомарных высказываний на основе формализма лингвистической переменной и нечетких значений – нечетких переменных – для учета неопределенности семантических концептов.

Исходя из принятой модели учета неопределенности элементов множества тезауруса, как базового уровня эволюции онтологий БЗ, разработаем математические модели учета неопределенности для всех уровней иерархии знаний.

В общем случае уровень атомарных концептов является подмножеством нечетких переменных, которые могут быть обобщены лингвистическими переменными [10]:

Так как на вход метаправила подаются не концепты с их неопределенностью, а состояния БЗ и интеллектуальной системы в целом с возможностью их возникновения, то в рамках принятой концепции метаправил предлагается интерпретировать показатели неопределенности входных условий как вероятностные характеристики. На основе приведенных рассуждений можно заключить о возможности применения к моделированию метаправил аппарата гибридных нечетких нейронных сетей [14, 17 – 20]. В [17] отмечается, что «при некоторых предположениях можно представить систему нечеткого принятия решений путём использования многослойной сети с прямым распространением сигнала».

Таким образом, реализуется фундаментальное положение о том, что метазнания играют когнитивно-управляющую роль интеллектуальной системы по отношению к БЗ.

Рассмотрим разработку модели фазификации представления онтологий уровня метазнаний в условиях

неопределенности. О метаправилах можно говорить, как о модулях нечеткого управления по отношению к БЗ. Другими словами, должна решаться основная задача о возможности применения метаправила в условиях неопределенности. Это обстоятельство требует введения в структуру метаправила модуля пороговой чувствительности или активизации метаправила. Неопределенность консеквента метаправила интересна не точным результатом, а предельным значением сигнала для запуска метаправила. Для решения вопроса о запуске метаправила агрегированные входные величины нечетких сигналов должны отфильтровываться исходной пороговой функцией чувствительности метаправила –  $MR$ .

Так как на вход метаправила подаются не концепты с их неопределенностью, а состояния БЗ и интеллектуальной системы в целом с возможностью их возникновения, то в рамках принятой концепции метаправил предлагается интерпретировать показатели неопределенности входных условий как

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N \bar{y}_k \left( \prod_{i=1}^n \mu_{A_{ki}}(\bar{x}_i) \right)}{\sum_{k=1}^N \left( \prod_{i=1}^n \mu_{A_{ki}}(\bar{x}_i) \right)} \quad (11)$$

Полученные математические модели для предложенной в работе модели онтологий БЗ позволяют строить нечеткие СППР в различных профессиональных областях.

$$\begin{aligned} \mathbb{F}^{MR}: R \subseteq & \left\{ \left( MR_{2j}^{C_i} \mid \mu_X(\widetilde{MR}_{2j}^{C_i}) \right) \mid j = 1, n \right\} \times \left\{ \left( MR_{1k}^{C_i} \mid \mu_X(MR_{1k}^{C_i}) \right) \mid k = 1, m \right\} \\ \mathbb{F}^{MR}: & \mathbb{R}_2^{MRC_1} \mathbb{R}_1^{MRC_1} \\ f_k^{MR}: & Op(\mathbb{R}_n^{MR} \circ \mathbb{R}_{n-1}^{MR} \circ \dots \circ \mathbb{R}_2^{MR} \circ \mathbb{R}_1^{MR}, I_j) \rightarrow (\mathbb{R}_j^{MR}, I_j) \mid f_j^{MR} \in \mathbb{F}^{MR}, \\ f_k^{MR}: & r^{MR} \subseteq \left\{ \circ_{j=1}^n \left( \mathbb{R}_{2j}^{MRC_1} \mid \mu_X(\mathbb{R}_{2j}^{MRC_1}) \right) \right\} \times \left( \mathbb{R}_1^{MRC_1} \mid \mu_X(\mathbb{R}_1^{MRC_1}) \right) \\ f_k^{MR}: & \mathbb{R}_2^{MRC_1} r^{MR} \mathbb{R}_1^{MRC_1} \end{aligned}$$

Для  $k$ -ой функции интерпретации метазнаний.

$$O_{KBMR} = i = 1n_c \{ k = 1 \mid n_s(\check{S}_{MRk}^{C_i} \mid \mu_X(S_{MRk}^{C_i})) \} k = 1n_0 F_k^{C_i}(\mathcal{P}(G_s), A(G_s) \mid \mu_X(A(G_s)) \mid M_\Sigma), F(\mathbb{R}(\text{БЗ})), \mathbb{F}^{MR} \rangle.$$

Онтология разделяет подмножества метаправил по их роли в интерпретации. Согласно формальной онтологической модели, принятой в рамках единой инкорпорации представления знаний, каждое метаправило должно интерпретироваться как минимум одним другим метаправилом. Семантика данного отношения метаправил заключается в том, что метаправила могут рассматриваться как функции, вызываемые из других функций.

### Заключение

Результатом цикла работы СППР являются нормативно-инструктивные материалы

вероятностные характеристики. На основе приведенных рассуждений можно заключить о возможности применения к моделированию метаправил аппарата гибридных нечетких нейронных сетей [14, 17 – 20]. В [17] отмечается, что «при некоторых предположениях можно представить систему нечеткого принятия решений путём использования многослойной сети с прямым распространением сигнала». Таким образом, реализуется фундаментальное положение о том, что метазнания играют когнитивно-управляющую роль интеллектуальной системы по отношению к БЗ.

Произведем конструирование метаправила, как модуля нечеткого управления в терминах искусственной нейронной сети (ИНС). Общее выражение для метапродукции

$$MR: Lop_{i=1}^n S_{MR_i} \rightarrow O_{KB_j} \quad (10)$$

Блок дефазификации построен на основе метода среднего центра – Centre Average Defuzzification (CAD). За основу принято выражение.

Универсум функции интерпретации нечетких метаправил может быть представлен как бинарное отношение метаправил, которые интерпретируют и интерпретируемых.

С учетом неопределенности метаправил  $\mathbb{R}^{MRC_i}$  формальная модель инкорпорации будет выглядеть так:

диспетчерского управления, полученные с уровней профессиональных онтологий БЗ, а также рекомендации управляющих корректирующих воздействий, их величин и направлений изменения. В рамках исследования статьи был использован категориальный метод «Универсальная схема взаимодействия», т.к. он позволяет составить концептуальную модель энергосистемах Приднестровской молдавской республики необходимую для дальнейшей разработки математической модели.

В результате полученных математических и структурно-логических моделей

использован Для создания математической модели интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений в энергосистемах используем метод БЗ СППР на основе нечеткой логики, а также проведенных успешных тестов разработанного программного обеспечения можно констатировать, что следующие задачи поставлены в работе:

- разработаны математические модели фазофикации тезауруса атомарных концептов;
- разработаны математические модели применения метаправил, как модуля нечеткого управления БЗ;
- разработана модель СППР, которая предусматривает использование в составе автоматизированных систем контроля и управления в энергосистемах.

Основным преимуществом предлагаемого подхода является достижение универсализма

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Аверченков В.И., Аверченков А.В., Филиппов Р.А. и др.** Программно-аппаратный комплекс автоматизации изготовления корпусных деталей на основе управления статистической настройкой инструмента // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. №8-1. С. 178-185. EDN ZEGITR.
2. **Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И.** Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Издательство «Лань», 2016. 324 с. ISBN 978-5-8114-2128-2.
3. **Еременко В.Т., Рытов М.Ю., Горлов А.П. и др.** Моделирование процесса оценки эффективности комплексных систем защиты информации промышленных предприятий при одновременной реализации угроз // Транспортное машиностроение. 2017. №7 (60). С. 55-61. DOI 10.12737/article\_5a337fbde60ab3.69866796. EDN YAHNBR.
4. **Ерохин Д.В., Спасенников В.В.** Экономико-психологическое обеспечение управления процессами создания и внедрения инноваций // Психология в экономике и управлении. 2011. №2. С. 42-49. EDN SJKFYN.
5. **Массель Л.В.** Методы и интеллектуальные технологии научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики // Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 30-42. EDN YPSAXB.
6. **Массель А.Г., Гаськова Д.А.** Онтологический инжиниринг для разработки интеллектуальной системы анализа угроз и оценки рисков кибербезопасности энергетических объектов // Онтология проектирования. 2019. №2 (32). С. 225-238. DOI 10.18287/2223-9537-2019-9-2-225-238. EDN WRUNVO.
7. **Массель А.Г., Бахвалов К.С.** Применение интеллектуальных технологий для решения проблемы научного обоснования стратегических решений по цифровой трансформации энергетики // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. №1 (13). С. 47-60. DOI 10.25729/2413-0133-2019-1-05. EDN ADHMPF.

в построении и использовании БЗ. Отметим некоторые основные положительные черты использования нечеткой логики в системах принятия решений при управлении сложными техническими системами. Прежде всего, не требуется слишком большого количества правил. Предпочтение получает параллельная обработка правил. Противоречивость правил в базе знаний не носит столь жесткого характера, как при двоичной логике. Все указанные обстоятельства приближают нечеткую базу знаний к образу мышления человека – ЛПР. Основное направление дальнейших исследований состоит в унификации разработанных моделей для различных профессиональных областей.

#### REFERENCES

1. **Averchenkov V.I., Averchenkov A.V., Filippov R.A., et al.** Program-Hardware Complex of Automation of Manufacture of Casting Parts on the Basis of Management of the Statistical Tool Tuning. Izvestiya TulGU. Technical Sciences. 2017;8-1:178-185.
2. **Gavrilova T.A., Kudryavtsev D.V., Muromtsev D.I.** Knowledge Engineering. Models and Methods. Saint Petersburg: Lan; 2016. 324 p.
3. **Eremenko V.T., Rytov M.Yu., Gorlov A.P., et al.** Efficiency Assessment Process Simulation of Complex Systems for Information Protection of Enterprises at Threat Simultaneous Realization. Transport Engineering. 2017;7(60):55-61. DOI 10.12737/article\_5a337fbde60ab3.69866796.
4. **Erokhin D.V., Spasennikov V.V.** Economic and Psychological Support of Management of Innovation Creating and Introducing. Psychology in Economics and Management. 2011;2:42-49.
5. **Massel L.V.** Methods and Intelligent Technologies for the Scientific Substantiation of Strategic Solutions on Digital Transformation of Energy Industry. Energy Policy. 2018;5:30-42.
6. **Massel A.G., Gaskova D.A.** Ontological Engineering for the Development of an Intelligent System for Threat Analysis and Risk Assessment of Cybersecurity in Energy Facilities. Design Ontology. 2019;2(32):225-238. DOI 10.18287/2223-9537-2019-9-2-225-238.
7. **Massel A.G., Bakhvalov K.S.** Application of Intelligent Technologies to Solve the Problem of Scientific Substantiation of Strategic Decisions on the Digital Transformation of Energetics. Information and Mathematical Technologies in Science and Management. 2019;1(13):47-60. DOI 10.25729/2413-0133-2019-1-05.

8. **Пяткова Н.И., Береснева Н.М.** Моделирование критических инфраструктур энергетики с учетом требований энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2017. № 3(7) С.54-65. EDN ZRNTHN.

9. **Барабанов А.В., Дорофеев А.В., Марков А.С. и др.** Семь безопасных информационных технологий. М.: ДМК Пресс, 2017. 224 с. ISBN 978-5-97060-494-6.

10. **Спасенников В.В., Андросов К.Ю.** Наукометрические индикаторы и особенности оценки эффективности научной деятельности ученых с использованием индексов цитирования (обзор отечественных и зарубежных исследований) // Эргодизайн. 2021. №3(13). С. 219-232. DOI 10.30987/2658-4026-2021-3-219-232. EDN PIVVDC.

11. **Спасенников В.В.** Сравнительный анализ публикационной активности отечественных психологов и эргономистов с использованием показателей цитируемости // Эргодизайн. 2021. №4(14). С. 233-244. DOI 10.30987/2658-4026-2021-4-235-249. EDN EBAWPB.

12. **Якимов А.И., Якимов Е.А., Аверченков В.И. и др.** Оптимизационная задача управления построением имитационной модели в корпоративной информационной системе // Транспортное машиностроение. 2016. №2 (50). С. 207-214. DOI 10.12737/20291. EDN WBKVDR.

13. **Gaskova D., Massel A.** Intelligent System for Risk Identification of Cybersecurity Violations in Energy Facility. Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). Vladivostok. Publisher: IEEE. 2018. P. 1-5.

14. **Averchenkov, V.I.** Fuzzy and Hierarchical Models for Decision Support in Software Systems Implementations // A. Kravets et al. (Eds.): Knowledge-Based Software Engineering, 11th Joint Conference, JCKBSE 2014. Springer International Publishing, 2014. P. 410-421.

8. **Pyatkova N.I., Beresneva N.M.** Modeling of Critical Energy Infrastructures Taking into Account Energy Security. Information and Mathematical Technologies in Science and Management. 2017;3(7):54-65.

9. **Barabanov A.V., Dorofeev A.V., Markov A.S.** Seven Secure Information Technologies. Moscow: DMK Press; 2017. 224 p.

10. **Spasennikov V.V., Androsov K.Yu.** Scientometric Indicators and Features of Evaluating the Scholars' Scientific Activity Effectiveness Using Citation Indices (Review of Domestic and Foreign Studies). Ergodesign. 2021;3(13):219-232. DOI 10.30987/2658-4026-2021-3-219-232.

11. **Spasennikov V.V.** Comparative Analysis of Domestic Psychologists and Ergonomists' Publication Activity Using Citation Indices. Ergodesign. 2021;4(14): 235-249. DOI 10.30987/2658-4026-2021-4-235-249.

12. **Yakimov A.I., Yakimov E.A., Averchenkov V.I., et al.** Optimization Problem of Control by Simulation Model Formation in Corporate Information System. Transport Engineering. 2016;2(50):207-214. DOI 10.12737/20291.

13. **Gaskova D.A., Massel A.G.** Intelligent System for Risk Identification of Cybersecurity Violations in Energy Facility. In: Proceedings of the 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC). Vladivostok: IEEE: 2018. p. 1-5.

14. **Averchenkov V.I.** Fuzzy and Hierarchical Models for Decision Support in Software Systems Implementations. In: Kravets A, et al., editors. Proceedings of the 11th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering; 2014; Springer International Publishing; 2014. p. 410-421.

#### **Информация об авторах:**

**Жадаев Дмитрий Сергеевич** – старший преподаватель, тел. +37377958369, старший преподаватель кафедры «ИиЭС» БПФ ГОУ «ПГУ им. Т.Г. Шевченко»; международные идентификационные номера автора: SPIN-код: 4338-3917, AuthorID: 1026145.

#### **Information about the authors:**

**Zhadaev Dmitry Sergeevich** – Senior Lecturer, ph. +37377958369, Senior Lecturer of the Department “Information and Electric Systems”, of Bendery Polytechnic Branch of the State Educational Institution “Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko”; the author’s international identification numbers: SPIN-code: 4338-3917, Author-ID: 1026145.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 15.12.2022; одобрена после рецензирования 26.12.2022; принята к публикации 27.12.2022. Рецензент – Рытов М.Ю., кандидат технических наук., доцент Брянского государственного технического университета, член редакционной коллегии журнала «Эргодизайн»**

**The paper was submitted for publication on the 15<sup>th</sup> of December, 2022; approved after the peer review on the 26<sup>th</sup> of December, 2022; accepted for publication on the 27<sup>th</sup> of December, 2022. Reviewer – Rytov M.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, member of the editorial board of the journal “Ergodesign”.**