

Бахчевников Валентин Владимирович – e-mail: bahchevnikov@sfedu.ru; тел.: +79518289271; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; старший преподаватель.

Лобач Владимир Тихонович – e-mail: vtlobach@sfedu.ru; тел.: +79185233270; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; доцент.

Bakumenko Alexey Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: baku@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79886031853; the department of radio engineering & telecommunication systems; assistant professor.

Derkachev Vladimir Aleksandrovich – e-mail: vderkachev@sfedu.ru; phone +79614154733; the department of radio engineering & telecommunication systems; assistant professor.

Bakhchevnikov Valentin Vladimirovich – e-mail: bahchevnikov@sfedu.ru; phone: +79518289271; the department of radio engineering & telecommunication; senior lecturer.

Lobach Vladimir Tikhonovich – e-mail: vtlobach@sfedu.ru; phone: +79185233270; the department of radio engineering & telecommunication systems; associate professor.

УДК 519.688

DOI 10.18522/2311-3103-2024-2-31-38

С.Л. Беляков, А.В. Исаев

МЕТОД ПОДДЕРЖКИ УСТОЙЧИВОСТИ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Рассматривается задача управления распределением энергетической мощности на территории, покрытой интеллектуальной энергосетью. Целью управления является стабилизация потока энергии при наличии внешних воздействий, вызванных изменением состояния окружающей среды. Присутствие уязвимостей обусловлено природой энергетических сетей и при определенном стечении обстоятельств провоцирует аномалии энергоснабжения. Воздействие факторов внешней среды разнообразно по содержанию, не позволяя уверенно прогнозировать актуальные угрозы. Описываются геоинформационные модели, использующие представление знаний образами. Ее использование дает возможность оценивать актуальность известных угроз. Концептуально образ включает в себя центр и допустимые преобразования центра в некотором контексте. Рассматривается случай, когда угроза нарушения работы интеллектуальной сети оценивается трансформированием образа в заданную область пространства, в которой размещается интеллектуальная сеть. Принципиальной особенностью предлагаемого подхода является оценка реализуемость явления или события в заданной области пространства. Операция переноса ситуации заставляет учитывать особенности топологии заданной области. Основную роль начинают играть не столько атрибуты ситуации, как параметры порождающей ее инфраструктуры. Особенностью предлагаемого подхода следует считать перенос смыслового контекста, который представлен допустимыми преобразованиями образа. Программная функция трансформирования связывается со слоем картографического изображения. Для заданного объекта, входящего в прецедент-оригинал, определяется область размещения. Ее граница определяется свойствами объекта. Если размер области размещения позволяет сконструировать объект соответствующего класса, этот объект создается. Оценивается достоверность результата путем применения экспертного знания о качестве объектов рассматриваемого класса. Перечисленные действия выполняются не только над геометрией пространственного объекта. Аналогично концепции образного представления геометрии используются временные и семантические атрибуты. Формирование списка угроз при заданном состоянии внешней среды составляет суть управления устойчивости. Анализируются особенности алгоритмизации процедуры трансформации образов. Приводится способ оценки достоверности трансформирования. Применение предложенного подхода перспективно для интеллектуальных систем энергоснабжения, поведение которых сложным образом зависит от факторов внешней среды.

Геоинформационное моделирование; интеллектуальная сеть; управление энергопотреблением; интеллектуальные ГИС; представление знаний.

S.L. Belyakov, A.V. Isaev

METHOD OF SUPPORTING THE STABILITY OF THE POWER SUPPLY NETWORK BASED ON A GEOINFORMATION MODEL

The article considers the problem of controlling the distribution of energy power in an area covered by an intelligent energy network. The management objective is to stabilize the energy flow in the presence of external influences caused by changes in the surrounding environment. Vulnerabilities in the system are inherent due to the nature of energy networks and under certain circumstances can lead to anomalies in energy supply. External environmental factors vary in content, making it difficult to confidently predict current threats. Geoinformation models utilizing image-based knowledge representation are described. Their use enables the assessment of the relevance of known threats. Conceptually, an image comprises a center and permissible transformations of that center within a certain context. The case is considered where the threat to the functioning of the intelligent network is assessed by transforming the image into a specified area of space where the intelligent network is located. The key feature of the proposed approach is the evaluation of the feasibility of an event occurring in a given space. The operation of transferring the situation requires consideration of the topology of the specified area. The attributes of the generating infrastructure become more significant than the attributes of the situation itself in this approach. A distinctive feature of the proposed approach is the transfer of semantic context represented by permissible transformations of the image. The software transformation function is linked to a layer of cartographic representation. For a given object in the original precedent, its placement area is determined, with the boundary being defined by the object's properties. If the size of the placement area allows for the construction of an object of the corresponding class, that object is created. The credibility of the result is evaluated by applying expert knowledge about the quality of objects of the considered class. The listed actions are performed not only on the geometry of spatial objects but also on their temporal and semantic attributes, akin to the concept of image-based representation of geometry. Forming a list of threats given a specific state of the external environment constitutes the essence of stability management. The features of algorithmizing the image transformation procedure are analyzed, and a method for assessing the credibility of transformation is provided. The application of the proposed approach holds promise for intelligent energy supply systems, whose behavior is intricately linked to external environmental factors.

Geoinformation modelling; smart grid; energy management; intelligent GIS; knowledge representation, transfer learning.

Введение. Устойчивое функционирование интеллектуальных сетей представляет интерес как в практическом, так и в теоретическом отношениях [1, 2]. Реально функционирующее оборудование в системах поставки энергии способно лишь частично противостоять внешним отрицательным воздействиям. К ним относят воздействия окружающей природной среды, техносферы, сбоев и отказы оборудования и программ самих интеллектуальных сетей. Проблема устойчивости должна решаться, в частности, развитием системы управления в отношении ее интеллектуализации. «Умные» устройства, приборы, транспорт и города рассматриваются в настоящее время как бесспорная перспектива. С теоретической точки зрения, достижение устойчивости требует адекватных моделей объектов управления. Особый интерес представляют геоинформационные модели, отражающие явления и процессы реального мира в картографическом виде.

Интеллектуальные геоинформационные модели представляют собой особый класс образно-знаковых моделей, включающих в себя карты, планы, схемы систем реального мира и знания об их поведении [3]. Часть знаний закладывается в географические электронные карты уже на этапе их изготовления. Богатое содержание карт повышает эффективность принимаемых решений. Однако, этих знаний недостаточно для работы в условиях неопределенности. В частности, обеспечение устойчивости требует оценки текущего состояния сети, его классификацию и выработку управляющего воздействия [4]. Такая парадигма управления требует особой концептуальной модели для описания и оценки пространственных ситуаций. Специфика в том, чтобы эффективно использовать богатый опыт принятия решений в условиях неполноты, неопределенности и неоднозначности данных о состоянии интеллектуальной среды. Программный инструментальный геоинформационных систем (ГИС) позволяет пользователю фиксировать большой объем детальных данных о прецедентах принятия решения. Тем не менее, данные не несут идеи о том, по какому пути должна пойти выработка решений. Этот вопрос исследуется в настоящей работе.

Особое внимание при использовании геоинформационных моделей, с нашей точки зрения, следует уделять переносу содержащихся в них знаний (transfer learning). В отличие от моделей машинного обучения предварительная обученность моделей ГИС не связывается с предварительной обработкой наборов данных (data sets) и установлением некоторых разумных начальных значений параметров модели. Поведение геоинформационных моделей сильно зависит от топологии пространства. Например, представляется невозможным перенести опыт устранения аварийных ситуаций систем энергоснабжения из заболоченной области на зону песчаной пустыни. Однако, эксперты-аналитики способны «вообразить» то, как могла бы выглядеть известная ситуация в совершенно другой местности. Эта особенность чрезвычайно полезна и привлекает к исследованию того, как следует представлять опыт, какова логика переноса опыта и как можно аргументировать то или иное решение.

Целью настоящей работы является описание геоинформационной модели переноса знаний об аномальных ситуациях, влияющих на качество работы интеллектуальной сети.

Постановка задачи. Под свойством устойчивости интеллектуальной сети будем понимать ее способность противостоять угрозам нарушения нормального функционирования. Природа угроз различна, они обладают широким набором варьируемых параметров. Как следствие, объективно существует неопределенность того, какие из угроз актуальны на текущий момент времени. Существенно важна также пространственная локализация угроз: интеллектуальная сеть являются территориально рассредоточенными объектами. В задаче прогнозирования угроз и выработки защитных мер всегда будет важен опыт наблюдения событий и явлений, ранее приводивших к нарушениям работы интеллектуальной сети. Возможность переноса опыта применения защитных мер с одних ситуаций на другие имеет особую значимость для пространственных объектов. Возможность с помощью ГИС решать задачу «как ЭТО будет выглядеть ТАМ» с этой точки зрения является перспективным инструментом обеспечения устойчивости. Геоинформационной моделью для поддержания устойчивости интеллектуальных сетей будем представлять как множество объектов:

$$M = \{ C, B, G, P \}, \quad (1)$$

где C – множество контекстов, в которых могут решаться задачи пространственного анализа; B – множество пространственных областей, в которых размещается интеллектуальная сеть, G – набор процедур переноса опыта изучения прецедентов опасных ситуаций; P – множество прецедентов, наблюдавшихся ранее при работе интеллектуальной сети. С помощью геоинформационной модели должна решаться задача:

$$\begin{cases} W(G(B_w, P_a, C_w)) \rightarrow \max, \\ B_w \subseteq B, P_a \subseteq P, C_w \subseteq C. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь W – критерий достоверности переноса опыта, B_w – рабочая область пространства, в которой выполняется анализ угроз, P_a – список актуальных угроз, C_w – контекст анализа. Чтобы обеспечить решение задачи (2), необходимо:

- ◆ определить форму представления знаний о прецеденте, которые позволят переносить их в заданную пространственную область;
- ◆ представить процедуру переноса знания;
- ◆ обосновать критерий оценки результата переноса.

Если решены перечисленные вопросы, система управления интеллектуальной сети выполняет следующее:

1. Принимает в картографическом виде информацию об аномальном событии или процессе. На соответствующие слои электронной карты наносятся необходимые картографические объекты.
2. Формируется область анализа на карте, которая обновляется соответственно имеющимся оперативным данным о внешней среде.
3. Выбираются прецеденты известных ситуаций, которые потенциально могут произойти в анализируемой области.

4. Прецеденты, возможность повторения которых достаточно высока, считаются угрозами в ближайшем будущем.

5. Вырабатываются управляющие сигналы, направленные на снижение вероятности реализации угроз и минимизации ущерба в случае наступления.

Обзор публикаций. Построение и использование геоинформационных моделей для управления интеллектуальными сетями применяется уже много лет [5, 6]. Данный подход рассматривается как выработка управляющих воздействий на основе многокритериальной оценки состояния объекта [7]. Особенностью данного механизма является комплексная оценка территорий и накопление прецедентов аварийных ситуаций. Управление строится на результатах статистических обобщений непрерывно накапливаемых данных о состоянии среды, в которой функционирует интеллектуальная сеть [8]. Обращает на себя внимание структурирование прецедентов, минимально отличающее их от общей классификации объектов ГИС [9]. С одной стороны, это удешевляет обслуживание информационной базы ГИС, с другой – понижает достоверность пространственного анализа воздействий на интеллектуальная сеть. Имеется настоятельная необходимость изучать более сложные информационные структуры прецедентов [10].

Case based reasoning (CBR) относится к давно применяемым методам повторного использования опыта [11]. В его основе лежит применение метрики близости прецедентов и гипотезы компактности. В соответствии с этим, решения в сходных ситуациях должны быть близки по смыслу. Данный принцип эффективен для анализа пространственных ситуаций, однако сложность подбора выразительной и адекватной меры сходства заставляет обращаться к другим принципам [12]. В частности, требует исследования вопрос о том, какие модификации CBR должны использоваться для переноса опыта из одной области пространства в другую.

Учитывая то, что ГИС ориентированы на непрерывное накопление геопространственных данных и относятся к системам больших данных (big data), много публикаций посвящено применению методов анализа данных в системах [13]. Значительный интерес проявляется к моделям машинного обучения [14, 15]. Данный подход целесообразен тогда, когда большие объемы данных характеризуют непосредственно процесс выработки решений. Практика обеспечения устойчивости для интеллектуальной сети такими данными не обладает. По содержанию это данные о состоянии внешней среды и единичных логически обоснованных решениях. Здесь необходимо исследовать особый путь обучения интеллектуальной системы, использующий обширные данные о топологии пространства, в котором размещается интеллектуальная сеть [16].

Передача знаний является элементов исследований глобальной проблемы добычи и использования знаний. Работы этого направления исследуют модели представления имеющегося знания для его передачи заинтересованной стороне. Примером является работа [17]. В качестве основы используется модель пропускной способности (Throughput Model), включающая в себя восприятие, информацию, выработку суждений и принятие решений. Перечисленные элементы рассматриваются как интеллектуальные операции, основанные на знаниях. Передача знаний рассматривается как поддержка алгоритмического процесса модели пропускной способности. Уровень концептуального представления знаний в работах данного направления соответствует организационному, когда цикл управления интеллектуальной сетью реализуется экспертами. Таким образом, исследования в этом направлении концентрируются на системе понятий, которые частично охватывают интеллектуальность автоматизированной системы управления интеллектуальная сеть.

Исследования интеллектуальной сети с точки зрения кибербезопасности проводят анализ угроз и уязвимостей, которые способны породить инциденты сбоев и отказов [18, 19]. Это помогает систематизировать знания об опасностях и выработке мер защиты. При этом в работах по данному вопросу не рассматривается применение геоинформационных моделей.

Представление прецедентов пространственных ситуаций. Известным методом применения опыта является CBR [11]. Если задано пространственное положение двух прецедентов p_a и p_b , их сходство оценивается принятой метрикой расстояния $d(p_b, p_a)$. Минимальное расстояние соответствует максимальному сходству. Процедура CBR в геоинформационной модели трудно применима по двум причинам:

- ◆ расстояние $d(p_b, p_a)$ требует наличия на карте двух прецедентов. В случае, когда точное расположение одного из них не известно, усложняет ситуацию;
- ◆ для картографического пространства метрика $d(p_b, p_a)$ нелинейна. Для любого объекта карты должен выполняться набор топологических соотношений, определяемых целью создания карты.

Анализируя возможные пути решения задачи (2), будем учитывать, что всякий прецедент является подмножеством пространственных объектов (K) и отношений (R), представленных в геоинформационной модели:

$$p_i \in P \Rightarrow p_i \subseteq K \cup R, p_i \neq \emptyset . \quad (3)$$

Каждый прецедент размещен в области на карте B_{p_a} . Перенос прецедента означает определение новой области \tilde{B}_{p_a} , в которой будут построены картографические объекты и отношения нового прецедента \tilde{p}_i . В общем случае все элементы пары:

$$(\tilde{p}_i, K \cup R) \quad (4)$$

должны быть топологически согласованы. Содержательно это означает, что новое положение любого элемента прецедента \tilde{p}_i должно в точности повторять пространственное положение аналогичного элемента исходного прецедента p_i . Из-за того, что области B_{p_a} и \tilde{B}_{p_a} покрывают различные множества картографических объектов, точная топологическая согласованность становится чрезвычайно маловероятной. При этом практика пространственного анализа показывает, что расположение элементов прецедента \tilde{p}_i не является жестко фиксированным относительно друг друга и окружающих объектов. Возможные вариации положения определяются смыслом используемого контекста $C_w \subseteq C$. Однако, для этого должны быть известны границы таких изменений положения. Необходимость использования знаний о допустимых преобразованиях приводит к следующей концептуальной модели [20]. Любой прецедент описывается как образ:

$$\langle c, h_1(c), h_2(c), \dots, h_M(c) \rangle, \quad (5)$$

в котором c – это центр образа, а $h_i(c)$ – допустимые преобразования образа. Центр включает в себя картографическое представление прецедента в заданном контексте. Любое допустимое преобразование является набором картографических объектов, отражающих изменение значений свойств центра, но сохраняющих смысл прецедента. В качестве примера на рис. 1 показаны два экземпляра допустимых преобразований для прецедента «повреждение электрического кабеля», заданного точечным объектом. На рис. 1,а изображен образ прецедента как точечный объект на карте (условно обозначен крестом) в его области B_{p_a} . Показаны все значимые объекты, характеризующие аварийную ситуацию и принятое впоследствии решение (здесь не показано). Допустимым преобразованием h_1 является положение места размещения обрыва провода для свободного пространства относительно ближайших зданий (рис. 1,б). Этот фактор существенно повлиял на принятое впоследствии решение. Допустимым преобразованием h_2 считается возможное положение обрыва на двух соседних линиях (рис. 1,с). Картографическое изображение каждого допустимого преобразования включает ссылки на объекты, определяющие их геометрию (показаны треугольниками). Такие ссылки используются для объяснения геометрических характеристик допустимого преобразования.

Концептуальная модель (5) определяет представление знаний, необходимое для последующего переноса прецедентов. Существенно то, что топологическая согласованность в отличие от (4) должна контролироваться для пары:

$$(\tilde{p}_i, \tilde{B}_{p_i}), \quad (6)$$



Рис. 1. Пример допустимых преобразований

Это не только снижает трудоемкость задания и проверки ограничений, но и делает перенос прецедента более интеллектуальным, т.е. адаптированным к наперед не известным особенностям местности.

Подчеркнем, что модель (5) представляется картографическими объектами, не включает привязку к ним знаний известных моделей: продукционной, семантической, фреймовой и других.

Перенос прецедентов. Процедура переноса прецедента в виде (5) заключается в том, чтобы в заданной области \tilde{B}_{p_a} при наличии областей допустимых преобразований разместить соответствующие элементы прецедента \tilde{p}_a . Алгоритмические особенности этой процедуры следующие:

- ◆ каждое допустимое преобразование размещается на отдельном слое как набор картографических объектов. Их типы и значения атрибутов должны быть аргументами функции отображения каждого элемента прецедента в заданную локацию;
- ◆ каждому слою ставится в соответствие программная функция, интерпретирующая объекты данного слоя и возвращающая как результат область для размещения элемента прецедента. Если область пуста, прецедент переместить не удастся;
- ◆ каждому слою ставится в соответствие программная функция, конструирующая элемент нового прецедента в непустой области размещения;
- ◆ завершающим этапом является вызов функции оценки достоверности результата.

Ключевым для функции трансформирования является оценка достоверности. Результат может включать в себя только часть элементов, соответствующих исходному прецеденту. Например, преобразование h_2 на рис. 1 может не трансформироваться, если два кабеля расположены слишком близко друг к другу. Однако, эта особенность, по мнению эксперта, может сохранять возможность повторного применения известного решения, быть допустимым преобразованием результата трансформирования. Следовательно, возможную оценку результата трансформирования можно получить также соответственно модели (5). Образ может быть представлен, как

$$\langle F_{TR}(p_a, \tilde{B}_{p_a}), h_1(F_{TR}(p_a, \tilde{B}_{p_a})), \dots, h_M(F_{TR}(p_a, \tilde{B}_{p_a})) \rangle,$$

где $F_{TR}(p_a, \tilde{B}_{p_a})$ – функция трансформирования прецедента в заданную область. От эксперта потребуется указать значение оценки достоверности для каждого допустимого преобразования:

$$(\nu_1, h_1(F_{TR}(p_a, \tilde{B}_{p_a})), \dots, (\nu_M, h_M(F_{TR}(p_a, \tilde{B}_{p_a})))) \\ \nu_r \in [0, \nu_{max}].$$

Алгоритм оценки достоверности заключается в последовательном переборе слоев с изображениями h_k до тех пор, пока не будет найдено наиболее близкое допустимое преобразование.

Заключение. Предложенный в данной работе подход к управлению устойчивостью отличается использованием особого представления опыта эксплуатации интеллектуальной сети. Образы пространственных ситуаций, порожденных аномальными природными явлениями и событиями, используются для воспроизведения этих ситуаций в указанной пространственной области. Управление интеллектуальной сетью приобретает свойство

интеллектуальности, поскольку получает механизм адаптации к ранее не известным условиям. В данном случае это топология среды функционирования интеллектуальная сеть. База знаний о прецедентах аномальных ситуаций, заложенная в геоинформационную модель, используется для построения списка угроз в указанной пространственной локации. Дальнейшим направлением исследований по данной теме мы считаем поиск новых форм представления прецедентов для трансформирования опыта.

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы. Во-первых, устойчивость интеллектуальной сети существенно зависит от факторов природной среды. Их динамика и непредсказуемость делает полезными интеллектуальные геоинформационные модели. Они включают в себя процедуры и знания для воспроизведения процессов и явлений в разных локациях. Во-вторых, модель представления знаний обладает спецификой, обусловленной необходимостью трансформирования прецедентов. Концептуально это описание допустимых преобразований объекта, события или явления, сохраняющих его смысловую целостность. Дальнейшим направлением исследований по данной теме мы считаем поиск новых форм представления прецедентов для трансформирования опыта.

Подтверждения. Исследование было профинансировано Российским научным фондом, проект № 23-21-00206, <https://rscf.ru/en/project/23-21-00206/> реализовано Южным федеральным университетом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fotopoulou Maria, Rakopoulos Dimitrios, Petridis Stefanos, Drosatos Panagiotis. Assessment of smart grid operation under emergency situations, *Energy*, 2024, Vol. 287, 129661.
2. Tan Zhiwei, Li Zhuo. Digital twins for sustainable design and management of smart city buildings and municipal infrastructure, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2024, Vol. 64, 103682.
3. Veenendaal Bert, Brovelli Maria Antonia, Wu Lixin. Cloud/web mapping and geoprocessing services – Intelligently linking geoinformation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2016, Vol. 114, pp. 243-244.
4. Renugadevi N., Saravanan S., Naga Sudha C.M. IoT based smart energy grid for sustainable cities, *Materials Today: Proceedings*, 2023, Vol. 81, Part 2, pp. 98-104.
5. Alhamwi A., Medjroubi W., Medjroubi T., and Agert C. GIS-based urban energy systems models and tools: Introducing a model for the optimisation of flexibilisation technologies in urban areas, *Applied Energy*, 2017, Vol. 191, pp. 1-9.
6. Zhao Fang, Fashola Olushola I., Olarewaju Tolulope I., Onwumere Ijeoma. Smart city research: A holistic and state-of-the-art literature review, *Cities*, 2021, Vol. 119, 103406.
7. Mardania A., Zavadskas E., and Zakuana K. A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, Vol. 71, pp. 216-256.
8. Bhatt J., Shah V., and Jan O. An instrument at engineer's review on smart grid: Critical applications and parameters, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, Vol. 40, pp. 2017-20139.
9. rówczyńska ., Skiba ., Sztubecka ., Bazan-Krzywoszańska A., Kazak J.K., Gajownik P. Scenarios as a tool supporting decisions in urban energy policy: The analysis using fuzzy logic, multi-criteria analysis and GIS tools, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, Vol. 137, 110598.
10. Sylla Abdourahim. Thierry Coudert, Laurent Geneste, A Case-Based Reasoning (CBR) approach for Engineer-To-Order systems performance evaluation, *IFAC-PapersOnLine*, 2021, Vol. 54, Issue 1, pp. 717-722.
11. Kolodner J. Case-Based Reasoning, Morgan Kaufmann, San Mateo, 1993.
12. Zhuoa H.H., Kambhampati Z. Model-lite planning: Case-based vs. model-based approaches, *Artificial Intelligence*, 2017, 246, pp. 1-21.
13. Mostafa Noha, Haitham Saad Mohamed Ramadan, Elfarouk Omar. Renewable energy management in smart grids by using big data analytics and machine learning, *Machine Learning with Applications*, 2022, Vol. 9, 100363.
14. Jing Qianzhen, Yan Jing, Wang Yanxin, He Ruixin, Lu Lei. A novel differentiable neural network architecture automatic search method for GIS partial discharge pattern recognition, *Measurement*, 2022, Vol. 195, 111154.
15. Li Yunqin, Yabuki Nobuyoshi. Tomohiro Fukuda, Integrating GIS, deep learning, and environmental sensors for multicriteria evaluation of urban street walkability, *Landscape and Urban Planning*, 2023, Vol. 230, 104603.

16. Salenbien R., Wack Y., Baelmans M., Blommaert M. Geographically informed automated non-linear topology optimization of district heating networks, *Energy*, 2023, Vol. 283, 128898.
17. Rodgers Waymond, Cardenas Jesus A., Gemoets Leopoldo A., Sarfi Robert J. A smart grids knowledge transfer paradigm supported by experts' throughput modeling artificial intelligence algorithmic processes, *Technological Forecasting and Social Change*, 2023, Vol. 190, 122373.
18. Jean Paul A. Yaacoub, Javier Hernandez Fernandez, Hassan N. Noura, Ali Chehab. Security of Power Line Communication systems: Issues, limitations and existing solutions, *Computer Science Review*, 2021, Vol. 39, 100331.
19. Dennis Amelia, Weston Dale, Amlôt i chard, Arnold Andreas, Carbon Danielle, Carter Holly. The role of pre-incident information and responder communication in effective management of casualties, including members of vulnerable groups, during a decontamination field exercise, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2023, Vol. 94, 103806.
20. Belyakov S., Belyakova M., Bozhenyuk A., Rozenberg I. The features of generations of solutions by intellectual information systems, In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer International Publishing Switzerland, 2016, Vol. 451, pp. 221-229.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. А.В. Боженюк.

Беляков Станислав Леонидович – Южный федеральный университет; e-mail: sbelyakov@sfedu.ru, beliacov@yandex.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79185109607; д.т.н.; профессор кафедры информационно-аналитических систем безопасности имени профессора Берштейна Леонида Самойловича.

Исаев Александр Викторович – e-mail: alis@sfedu.ru, shura.isaev.99@mail.ru; тел.: +79518352784; аспирант кафедры информационно-аналитических систем безопасности имени профессора Берштейна Леонида Самойловича.

Belyakov Stanislav Leonidovich – Southern Federal University; e-mail: sbelyakov@sfedu.ru, beliacov@yandex.ru; Taganrog, Russia; phone: +79185109607; dr of eng. sc.; professor of the department of information and analytical security systems named after professor Leonid Samoilovich Bershtein.

Isaev Alexander Viktorovich – Southern Federal University; e-mail: alis@sfedu.ru, shura.isaev.99@mail.ru; phone: +79518352784; postgraduate student of the department of information and analytical security systems named after professor Leonid Samoilovich Bershtein.

УДК 004.89

DOI 10.18522/2311-3103-2024-2-38-50

Д.Ю. Кравченко

МОДЕЛЬ ОНТОЛОГИИ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ТЕКСТОВ*

Статья посвящена решению научной проблемы создания верхнеуровневого описания модели онтологии знаний для интеллектуальных систем обработки и анализа текстов на естественном языке, построенной на основе оригинальной компонентной архитектуры, обеспечивающей необходимый уровень детализации спецификаций анализируемой текстовой информации. Актуальность данной задачи обусловлена необходимостью развития теоретических основ построения информационных моделей семантических зависимостей внутри текстов на естественном языке. Автором даны определения основным терминам исследуемой предметной области. Представлена формализованная постановка решаемой задачи. Проблема «информационного взрыва», причиной возникновения которой стал экспоненциальный рост объемов цифровой информации, привела к ситуации, когда до 95% информационного потока содержит неструктурированные данные. В подобных условиях, крайне актуальной становится задача создания эффективных интеллектуальных систем поиска и приобретения знаний, в том числе, интеллектуальных систем обработки и анализа текстов на естественном языке. Научным направлением решения этой частной задачи является Text Mining (ТМ) – раскопка знаний в текстовой информации. В качестве примера прикладной задачи использования приобретенных знаний, в данном исследовании, рассматривается

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-10121, <https://rscf.ru/project/22-71-10121/> в Южном федеральном университете.