

УДК 004.82, 004.832.2
DOI: 10.15827/0236-235X.140.729-736

Дата подачи статьи: 18.07.22, после доработки: 30.08.22
2022. Т. 35. № 4. С. 729–736

Прецедентный подход для оценки влияния молний на системы уличного освещения с использованием онтологий

*М.В. Черновалова*¹, к.т.н., младший научный сотрудник, 0208margarita@bk.ru

*Л.Л. Черненский*², к.т.н., доцент, leonid@chernensky.ru

*И.М. Макарова*¹, аспирант, takar.80@inbox.ru

¹ Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск, 214013, Россия

² Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, 111250, Россия

Рассматривается возможность повышения энергоэффективности и энергобезопасности систем уличного освещения в условиях прямого и косвенного электромагнитного воздействия атмосферного электричества и разрядов молнии на основе разработки и использования интеллектуальной системы поддержки принятия решений.

В качестве метода исследования применяется прецедентный подход с представлением знаний в виде онтологий. Данный подход обеспечивает возможность формирования решений на основе знаний об аналогичных ситуациях, возникавших ранее, что позволяет работать в открытых, динамических, плохо формализованных предметных областях, где неопределенность может иметь невероятный характер. Онтологические модели обеспечивают возможность применения прецедентного подхода в условиях отсутствия необходимого объема статистической информации для принятия решения посредством представления знаний в виде иерархии концептуальных терминов заданной предметной области и множества отношений.

Предложена онтология предметной области, описывающая искусственное грозовое облако. Она используется для выявления закономерностей в информационных массивах при комплексном управлении процессами энергообеспечения и энергобезопасности систем уличного освещения в условиях различного спектра электромагнитных воздействий атмосферного электричества и молнии. Разработан алгоритм формирования решений по управлению элементами указанной системы с помощью прецедентного подхода и онтологии, отличительная особенность которого заключается в возможности формирования количественных решений, адаптируя к текущей ситуации результаты реализованных ранее и описанных в лингвистической форме ситуаций при управлении элементами систем уличного освещения.

Разработанные модель и алгоритм были реализованы в виде интеллектуальной системы поддержки принятия решений, ориентированной на автоматизацию процесса управления указанными системами, применение которой на практике позволяет повысить оперативность, обоснованность и эффективность принимаемых решений.

Ключевые слова: онтологическая модель, прецедентный подход, уличное освещение, электромагнитные воздействия атмосферного электричества и молнии, интеллектуальные системы, принятие решений.

Современные цифровые технологии стали активно внедряться во всех сферах жизни общества, что привело к появлению различных *киберфизических систем* (КФС), представляющих собой спроектированные взаимодействующие сети физических (устройства, машины, здания и т.д.) и вычислительных (данные, информационные системы, сети связи и прочее) компонентов. Преимущество указанных систем заключается в возможности киберчасти представлять в цифровом виде состояние физических объектов и воздействовать на них посредством автоматизированного контроля или информирования людей об управляющих дей-

ствиях [1, 2]. Одной из ключевых областей, где формируются и используются эти системы, является электроэнергетика. В данном случае КФС применяются для обеспечения надежной и безопасной работы различных энергообъектов. Пример варианта создания указанной системы в России описан в Концепции ПАО «Россети» «Цифровая трансформация 2030».

Внедрение полноценных КФС – довольно длительный и трудоемкий процесс, поэтому во многих городах России используются лишь его отдельные элементы, например, в сфере энергетики широкое распространение получило умное уличное освещение, позволяющее снизить

потребление электричества. Необходимость применения указанного элемента КФС обусловлена большими объемами электроэнергии (7 млрд кВт/ч), затрачиваемыми в стране для освещения улиц, что соответствует 16 млрд руб. [3].

Помимо цифровых систем, внедряемых непосредственно для управления энергообъектами, широкое применение нашли лаборатории КФС, предназначенные для выполнения экспериментальных исследований и тестирования новых разработок в рассматриваемой области. Однако, несмотря на большое разнообразие способов и подходов к организации КФС в энергетике, остается не до конца решенной проблема повышения энергоэффективности и энергобезопасности в условиях прямого и косвенного электромагнитного воздействия атмосферного электричества и разрядов молнии.

Основная сложность ее решения заключается в необходимости обеспечения эффективного учета влияния параметров спектра электромагнитного излучения, четкие границы которых для всех характерных видов разрядных явлений пока не определены. Трудности также появляются в процессе сбора информации о том, как разрядные явления, возникающие с элементов самих объектов и средств их молниезащиты, могут изменять спектр конечного электромагнитного излучения, что приносит дополнительную неопределенность в процесс управления энергообъектами в КФС. В связи с этим актуальной является задача обеспечения возможности выявления различных зависимостей и закономерностей в массивах разнородных данных в ходе комплексного управления процессами энергообеспечения и энергобезопасности в указанных системах в условиях различного спектра электромагнитных воздействий атмосферного электричества и молнии.

Эффективность решения указанной задачи во многом зависит от способа организации хранилища данных. На сегодняшний день существуют различные подходы к обеспечению сбора, обработки и хранения информации, самый распространенный из которых основан на применении СУБД, позволяющих хранить связанные данные, описанные и сгруппированные в соответствии с установленными правилами и принципами. Выбор конкретного вида БД во многом зависит от специфических особенностей предметной области, для которой формируется информационная модель. Для решения же рассматриваемой задачи важно обеспечить возможность не только простой обработки и

поиска сведений в базе, но и проведения семантического анализа с целью выявления скрытых зависимостей и закономерностей, что, в свою очередь, обуславливает необходимость применения особого рода БД – *базы знаний* (БЗ). Преимущество БЗ заключается в том, что она позволяет хранить не только фактическую информацию, но и правила вывода, что делает возможным автоматическое формирование умозаключений об уже известных или вновь вводимых фактах [4, 5].

Основой для формирования той или иной БЗ является модель представления знаний – подход к описанию знаний, обеспечивающий возможность хранения, удобного доступа и взаимодействия с ними, соответствующий задаче интеллектуальной системы. В связи с этим выбор конкретной модели определяет эффективность функционирования той или иной системы.

Рассматриваемая предметная область характеризуется высокой степенью неопределенности, что существенно затрудняет процесс формализации зависимостей между отдельными энергообъектами и их составляющими. Кроме того, возникает необходимость хранения различных типов данных – количественных и качественных. Для возможности учета данных особенностей в качестве модели представления знаний используется семантическая модель, построенная с помощью применения онтологии, которая отражает основные понятия и отношения предметной области.

Извлечение сведений из онтологии осуществляется посредством процедур анализа информации, основанных на знаниях об аналогичных ситуациях [6, 7], которые возникали в процессе управления умным уличным освещением в условиях электромагнитного воздействия атмосферного электричества и разрядов молнии. Выбор данного подхода обусловлен сложностью представления информации о состоянии элементов уличного освещения в указанных условиях эксплуатации в формализованном виде.

Для организации эффективного управления энергетическими объектами, особенно умным уличным освещением, стали активно использовать различные интеллектуальные системы [8, 9], применение которых выявило проблему их нормального функционирования в условиях различного спектра электромагнитных воздействий атмосферного электричества и молнии. Первичное и вторичное оборудование рассматриваемых объектов с точки зрения электромаг-

нитной совместимости в процессе всего срока службы подвергается воздействиям разного вида, самыми опасными из которых являются электромагнитные воздействия, возникающие при ударах молнии. Данные условия определяют работоспособность энергетического оборудования и характеризуются возможностью формирования такой электромагнитной обстановки, когда самые большие уровни перенапряжений на энергообъекте не превышают заданные значения. Для возможности формирования и поддержания такой обстановки целесообразно применение различных вычислительных систем, которые позволят осуществлять мониторинг состояния различных элементов умного уличного освещения, а также внешних условий их функционирования и вырабатывать соответствующие управляющие воздействия.

Примерами таких интеллектуальных систем являются системы мониторинга уличного освещения, которые используются в рамках КФС «Цифровой город» (например, SmartLight, АСУ НО, Lights administration). Они позволяют анализировать и управлять всеми светильниками и пунктами их питания на основе применения индивидуальных контроллеров, благодаря чему минимизируются затраты на техническое обслуживание городской системы освещения. Кроме этого, возможность адаптивной настройки режимов работы любого осветительного прибора и подключения внешних датчиков движения обеспечивает значительное сокращение энергопотребления в указанной системе, а применение беспроводных интерфейсов связи (например, LoRaWAN, NB-IoT или 3G) облегчает процесс модернизации систем освещения и уменьшает стоимость.

В то же время использование элементов искусственного интеллекта для мониторинга и управления элементами умного уличного освещения позволило установить, что эффективность его функционирования в условиях воздействия молнии и атмосферного электричества значительно снижается, а также возникает необходимость обеспечения электромагнитной совместимости. Так, например, в работе [10] показано, что удары молнии в молниеотводы приводят к нарушению функционирования или ложному срабатыванию отдельных устройств, управление которыми осуществляется с помощью автоматических систем. Кроме этого, остаются нерешенными вопросы, связанные с процессом формирования разрядных явлений

различного вида на конструктивных особенностях этих наземных систем под воздействием грозовых облаков, молнии и электромагнитного излучения, создаваемого ими, а также с управлением такими элементами в киберфизических системах.

Сложность решения указанных задач заключается в трудности сбора информации, необходимой для принятия соответствующих управленческих решений, в первую очередь, из-за кратковременного и периодического появления гроз и молний. В связи с этим для накопления экспериментальных данных о возможных проблемах электричества атмосферы, физики молнии и молниезащиты энергообъектов был предложен экспериментальный комплекс «Гроза», подробное описание которого дано в работе [11]. Данный комплекс был разработан на кафедре техники и электрофизики высоких напряжений НИУ МЭИ. Он обеспечивает возможность создания искусственного облака сильно заряженного водного аэрозоля с предельной плотностью объемного заряда. Его использование позволяет воспроизводить различные типы электрических разрядов, присутствующие в грозовом облаке.

Информация, полученная в ходе использования экспериментальной установки, будет собираться и храниться в БЗ в виде концептов онтологии.

Качество решений, формируемых с помощью интеллектуальной системы, используемой для управления любым объектом, в том числе и элементами умного уличного освещения, прежде всего определяется полнотой и непротиворечивостью имеющихся знаний, что особенно важно для слабоформализованных задач. Применение онтологий в данном случае является самым эффективным подходом для создания такого описания, так как они позволяют сформировать каркас БЗ, подготовить основу для описания ключевых понятий предметной области, а также обеспечить интеграцию БД, в которых хранятся фактические знания, необходимые для корректного функционирования интеллектуальной системы. Это возможно благодаря использованию семантики данных и знаний при объединении больших массивов разнородной информации.

Основная сложность построения онтологических моделей для КФС заключается в необходимости хранения сведений из нескольких предметных областей, так как указанные системы включают в себя различные физические

и вычислительные элементы. Одним из способов решения указанной проблемы является формирование обобщенной онтологии, состоящей из множества концептов, их иерархий и правил вывода. Однако такой способ агрегирования информации недостаточно эффективен и может привести к потере важных для конкретной предметной области знаний, что снизит качество принимаемых решений. В связи с этим целесообразно применение мультионтологического подхода, подробно рассмотренного в работах [12, 13].

В соответствии с указанным подходом предлагается формировать легковесные предметные онтологии в виде формальных таксономий, реализованных на языке OWL. В общем виде описание отдельной онтологии можно представить следующим образом [14, 15]: $O = \langle Q, U, V, A \rangle$, где Q – концепты; U – свойства концепта; V – связи между концептами; A – аксиомы.

Структура онтологии, построенная с помощью онтологического редактора Protege и описывающая искусственное грозовое облако, концептами верхнего уровня которой являются «Облако», «Измерения», «Разряд», «Модели», представлена на рисунке (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2022-4/2022-4-dop/15.jpg>).

Данная онтология построена для предметной области, связанной с физическим моделированием и проведением комплексных экспериментальных исследований с использованием искусственных грозовых облаков спектра возможных электромагнитных воздействий атмосферного электричества, грозовых облаков и разрядов молнии на модельные элементы киберфизических объектов и систем с диэлектрическими и композитными компонентами.

Использование указанной онтологии позволит обнаруживать зависимости и закономерности из информационных массивов в ходе комплексного управления процессами энергообеспечения и энергобезопасности в киберфизических объектах и системах, в том числе в условиях различного спектра электромагнитных воздействий атмосферного электричества и молнии.

Для формирования решений по управлению элементами умного уличного освещения в условиях электромагнитных воздействий на них атмосферного электричества, грозовых облаков и разрядов молнии на основе информации, хранящейся в онтологии, используется модифицированный алгоритм применения близких к текущей ситуации прецедентов, который подробно описан в работе [12].

Основное назначение данного алгоритма заключается в использовании прецедентного подхода и онтологической модели для формирования количественных рекомендаций с помощью адаптированных к текущей ситуации решений по событиям, которые были выполнены ранее и описаны в лингвистической форме.

Введем следующие обозначения: W_k – свойство k -го прецедента; S_k – решение k -го прецедента; $\{W_k, S_k\}$ – совокупность прецедентов; Z – лингвистическое описание текущей ситуации; S_z^* – решение, которое необходимо принять для текущей ситуации Z .

В общем виде алгоритм в работе [12] разбивается на четыре укрупненных этапа, последний из которых направлен на нахождение интегрального решения для случая использования нескольких онтологий. В связи с этим для рассматриваемой ситуации при формировании решения будут использоваться только три первых этапа рассматриваемого алгоритма с учетом работы только с одной онтологией:

- определение показателей степени соответствия прецедентов и текущей ситуации, заключающееся в формировании численных характеристик для текущей ситуации и каждого k -го прецедента с помощью преобразований вида $\{W_k, S_k\} \xrightarrow{f_1} \{w_{ka}, R_k\}, \{Z, X_z^*\} \xrightarrow{f_1} \{z_a, S_z^*\}$, где w_{ka} – a -я численная характеристика ($a = 1, \dots, A$) k -го прецедента; X – лингвистическое описание текущей ситуации; z_a – a -я численная характеристика текущей ситуации; f_1 – процесс преобразования;

- формирование базы нечетких продукционных правил для определения близости прецедентов текущей ситуации вида

ЕСЛИ z_1 ЕСТЬ \tilde{w}_{11} И z_2 ЕСТЬ \tilde{w}_{12} И...

И z_A ЕСТЬ \tilde{w}_{1A} ТО S_z ЕСТЬ \tilde{S}_1^n ,

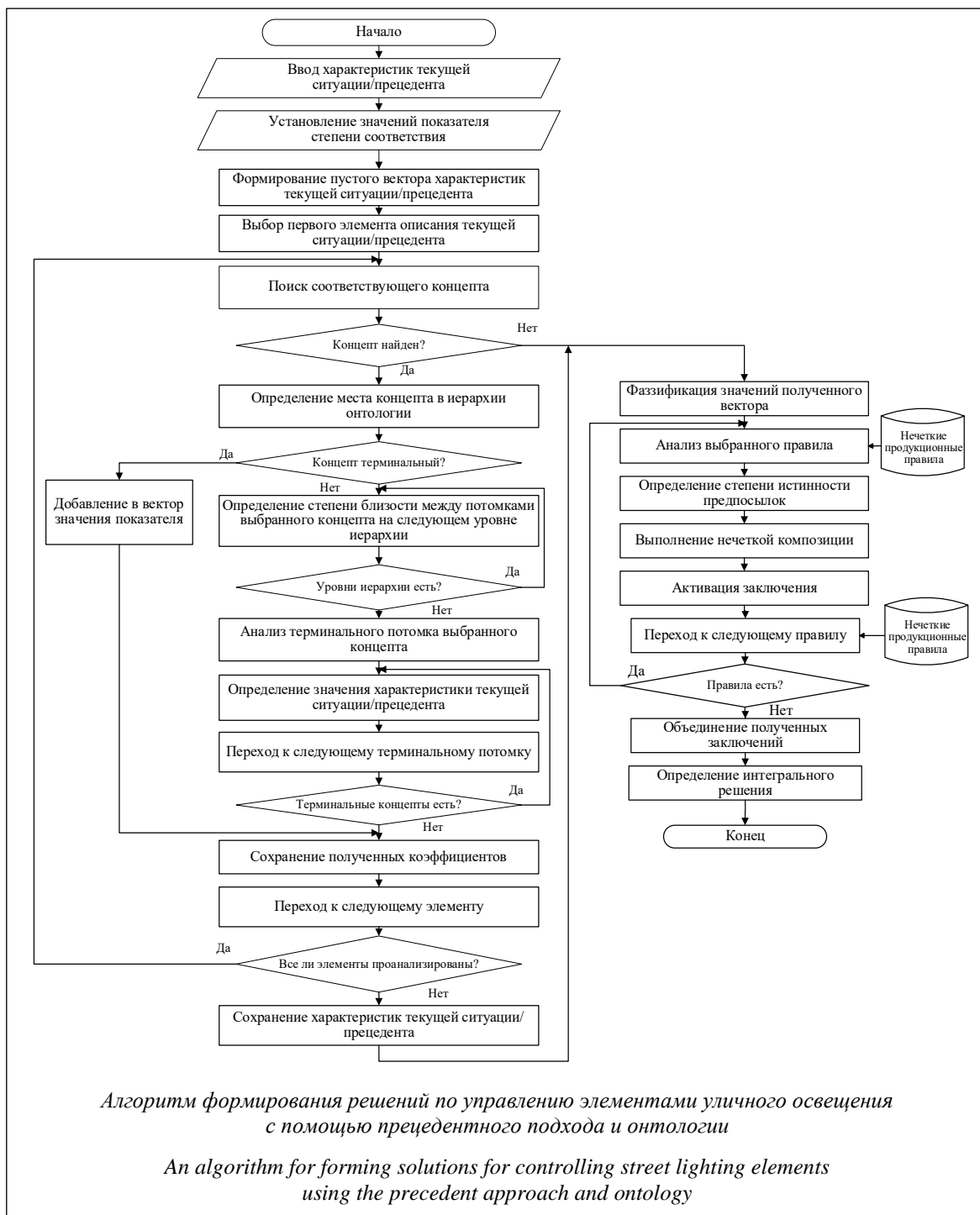
где \tilde{w}_{ka} – нечеткое множество для переменной w_{ka} ; \tilde{S}_1^n – нечеткое множество для переменной S_z ;

- формирование рекомендуемых решений с помощью нечеткого логического вывода:

$$\tilde{S}_\Sigma^n = \bigvee_{k=1}^K \left[\min_{a=1, \dots, A} (\tilde{w}_{ka}(x_a), \tilde{S}_k^n) \right],$$

где \tilde{S}_Σ^n – результирующее нечеткое множество; \bigvee – max-дизъюнкция.

На рисунке представлена схема данного алгоритма, который начинается с проведения анализа прецедента или текущей ситуации с целью определения нечетких степеней соответ-



Алгоритм формирования решений по управлению элементами уличного освещения с помощью прецедентного подхода и онтологии

An algorithm for forming solutions for controlling street lighting elements using the precedent approach and ontology

ствия для каждого существенного с точки зрения предметной области слова. В результате выполнения данного алгоритма создается вектор весовых коэффициентов, который представляет набор нечетких характеристик.

Далее осуществляется выработка решений с использованием описанной в работе [12] модификации алгоритма нечеткого вывода Мамдани. Результатом работы алгоритма является

набор конкретных действий по управлению элементами уличного освещения при возникновении тех или иных ситуаций в условиях электромагнитных воздействий на них атмосферного электричества, грозовых облаков и разрядов молнии.

Предложенные онтология и алгоритм были реализованы в виде интеллектуальной системы поддержки принятия решений. Для работы с

онтологией использовался соответствующий редактор Protégé, который представляет собой программную платформу для построения БЗ. Из двух основных способов моделирования, обеспечиваемых данным редактором, был выбран основанный на применении OWL, языке представления онтологий для семантической сети. Данный язык ориентирован на формирование классов и отношений между ними, характерных для web-документов и приложений. С помощью OWL-онтологии описываются объекты, их свойства и экземпляры. Выбор данной платформы обусловлен прежде всего наличием открытой архитектуры, которая может быть легко расширена с помощью соответствующих функциональных модулей.

Программный код написан на языке C#, который является объектно-ориентированным и позволяет создавать многофункциональные приложения. В качестве интегрированной среды разработки использовалась Visual Studio, являющаяся начальной площадкой для написания, отладки и сборки кода, а также дальнейшей публикации приложения.

Для организации взаимодействия между БЗ и приложением используется OwlDotNetApi, которая представляет собой API и парсер OWL, написанный на C# для платформы .NET на основе парсера Drive RDF. Он полностью соответствует спецификации синтаксиса W3C OWL и может использоваться на любом языке .NET.

В качестве примера использования предложенного приложения рассмотрен процесс разработки решения по формированию защитных

элементов уличного освещения, обеспечивающих их бесперебойное функционирование в условиях электромагнитных воздействий атмосферного электричества, грозových облаков и разрядов молнии. В результате установлены зависимости между параметрами инициируемых искусственными грозowymi ячейками разрядных явлений и спектральными характеристиками электромагнитного излучения, регистрируемого на модельных элементах систем умного уличного освещения. Было предложено использовать диэлектрические и композитные компоненты при создании защитных элементов для шкафа управления, включающего в себя комплект силового оборудования, которое позволяет управлять наружным освещением, трехфазный электросчетчик и контроллер, необходимые для организации сбора и первичной обработки поступающей информации и ее дальнейшей передачи системам верхнего уровня, а также выдавать управляющие воздействия силовому оборудованию пункта включения.

Таким образом, разработанная интеллектуальная система позволяет оперативно принимать обоснованные решения в условиях отсутствия достаточного объема статистической информации о состоянии элементов систем уличного освещения, используя для этого накопленный ранее опыт, что обеспечивает возможность повышения энергоэффективности и энергобезопасности систем уличного освещения в условиях прямого и косвенного электромагнитного воздействия атмосферного электричества и разрядов молнии.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2020-0019.

Литература

1. Громаков Е.И., Сидорова А.А. Современные технологии. Киберфизические системы. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2021. 166 с.
2. Гумеров Э.А., Алексеева Т.В. Киберфизические системы промышленного Интернета вещей // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 2. С. 72–81. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-2-72-81.
3. Холкин Д., Чаусов И., Бурдин И., Рыбушкина А. Архитектура Интернета энергии (IDEA). Версия 2.0. М., 2021. 77 с.
4. Стоянова О.В., Дли М.И. Информационно-аналитическая система управления производственными проектами машиностроения в условиях неопределенности // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 49–56. DOI: 10.15827/0236-235X.111.049-056.
5. Новиков А.П., Смольянинова В.А., Сурхаев М.А., Никишина А.А. Недопустимость обособления исследований по представлению знаний из исследований по созданию искусственного интеллекта // Прикладная информатика. 2017. Т. 12. № 1(67). С. 121–136.
6. Пальмов С.В., Турляков М.В. Системы рассуждения на основе аналогичных случаев // Евразийское научное объединение. 2018. № 12-2. С. 96–98. DOI: 10.5281/zenodo.2533066.
7. Крылов А.В. Проблема извлечения знаний с использованием рассуждений на основе прецедентов // Изв. высших учебных заведений. Приборостроение. 2018. Т. 61. № 11. С. 956–962. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-11-956-962.

8. Сеньков А.В., Ерш В.С. Средства потоковой обработки данных для интеллектуального управления рисками в условиях неопределенности // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 5. С. 5–15. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-5-5-15.
9. Sinyavsky Yu.V., Kirillova E.A. Intelligent control algorithm for autonomous integrated power plants for arctic regions. J. of Applied Informatics, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 74–82. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-74-82.
10. Karch C., Heidler F., Paul C. Protection of aircraft radomes against direct lightning strikes – an overview. Atmosphere, 2021, no. 12, art. 1141. DOI: 10.3390/atmos12091141.
11. Lysov N., Temnikov A., Chernensky L., Orlov A. et al. A laboratory investigation of the probable mechanisms of the action of an artificial thunderstorm cell on model aircraft radomes. Atmosphere, 2021, vol. 12, no. 12, art. 1637. DOI: 10.3390/atmos12121637.
12. Черновалова М.В. Нечеткие прецедентные модели для управления проектами с использованием мультионтологического подхода // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 2. С. 4–16. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-2-4-16.
13. Черновалова М.В., Какатунова Т.В., Волкова И.В., Власова Е.А. Алгоритмы и программные средства адаптации базы знаний информационных систем управления проектами // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 4. С. 21–34. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-21-34.
14. Антонов А.А., Быков А.Н., Чернышев С.А. Обзор существующих способов формирования онтологии предметной области при моделировании // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2021. Т. 6. № 4. С. 12–17.
15. Олейник П.П., Грегер С.Э. Применение и реализация онтологий при разработке приложений баз данных // Прикладная информатика. 2016. Т. 11. № 3. С. 76–102.

Software & Systems
DOI: 10.15827/0236-235X.140.729-736

Received 18.07.22, Revised 30.08.22
2022, vol. 35, no. 4, pp. 729–736

A precedent approach to evaluating a lightning impact on a street lighting system using the ontologies

*M.V. Chernovalova*¹, Ph.D. (Engineering), Junior Researcher, 0208margarita@bk.ru
*L.L. Chernensky*², Ph.D. (Engineering), Associate Professor, leonid@chernensky.ru
*I.M. Makarova*¹, Postgraduate Student, makar.80@inbox.ru

¹ Branch of the National Research University Moscow Power Engineering Institute in Smolensk, Smolensk, 214013, Russian Federation

² National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, 111250, Russian Federation

Abstract. The paper considers the possibility of improving the energy efficiency and energy security of street lighting systems under conditions of direct and indirect electromagnetic effects of atmospheric electricity and lightning discharges based on the development and use of an intelligent decision support system.

A case-based approach is used as a research method with the representation of knowledge in the form of ontologies. This approach provides the possibility of forming decisions based on knowledge of similar situations that have taken place before, which allows working in open, dynamic, poorly formalized subject areas, where uncertainty can be of an improbable nature. Ontological models provide the possibility of applying a case-based approach in the absence of the necessary amount of statistical information for decision making by representing knowledge in the form of a hierarchy of conceptual terms of a given subject area and a set of relationships.

The paper proposes an ontology of the subject area that describes an artificial thundercloud. It is used to identify patterns in information arrays in the integrated management of the processes of energy supply and energy security of street lighting systems under conditions of a different spectrum of electromagnetic effects of atmospheric electricity and lightning. There is a developed algorithm for generating decisions on managing the elements of the specified system using a case-based approach and ontology: its distinctive feature is the possibility of forming quantitative solutions, adapting to the current situation the results of previously implemented and described in a linguistic form situations when managing elements of street lighting systems.

The developed model and algorithm were implemented in the form of an intelligent decision support system focused on automating the process of managing these systems, the use of which in practice allows increasing the efficiency, validity and effectiveness of decisions made.

Keywords: ontological model, case approach, street lighting, electromagnetic effects of atmospheric electricity and lightning, intelligent systems, decision making.

Acknowledgements. This study was performed within the framework of the state assignment; project no. FSWF-2020-0019.

References

1. Gromakov E.I., Sidorova A.A. *Modern Technologies. Cyber-Physical Systems*. Tomsk, 2021, 166 p. (in Russ.).
2. Gumerov E.A., Alekseeva T.V. Cyber-physical systems of the industrial internet of things. *J. of Applied Informatics*, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 72–81. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-2-72-81 (in Russ.).
3. Kholkin D., Chaouf I., Burdin I., Rybushkina A. *Internet of Energy Architecture (IDEA). Version 2.0*, Moscow, 2021, 77 p. (in Russ.).
4. Stoyanova O.V., Dli M.I. Information-analytical system for complex manufacturing machine-building projects management under uncertainty. *Software & Systems*, 2015, no. 3, pp. 49–56. DOI: 10.15827/0236-235X.111.049-056 (in Russ.).
5. Novikov A.P., Smolyaninova V.A., Surkhaev M.A., Nikishina A.A. The impermissibility to section knowledge research out of the research on artificial intellect. *J. of Applied Informatics*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 121–136 (in Russ.).
6. Palmov S.V., Turlyakov M.V. Reasoning systems based on analogous cases. *Eurasian Scientific Association*, 2018, no. 12-2, pp. 96–98 (in Russ.).
7. Krylov A.V. The problem of knowledge retrieving with the use of precedent-based reasoning. *J. of Instrument Engineering*, 2018, vol. 61, no. 11, pp. 956–962. DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-11-956-962 (in Russ.).
8. Senkov A., Ersh V. Streaming data processing tools for intelligent risk management in condition of uncertainty. *J. of Applied Informatics*, 2021, vol. 16, no. 5, pp. 5–15. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-5-5-15 (in Russ.).
9. Sinyavsky Yu.V., Kirillova E.A. Intelligent control algorithm for autonomous integrated power plants for arctic regions. *J. of Applied Informatics*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 74–82. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-74-82.
10. Karch C., Heidler F., Paul C. Protection of aircraft radomes against direct lightning strikes – an overview. *Atmosphere*, 2021, no. 12, art. 1141. DOI: 10.3390/atmos12091141.
11. Lysov N., Temnikov A., Chernensky L., Orlov A. et al. A laboratory investigation of the probable mechanisms of the action of an artificial thunderstorm cell on model aircraft radomes. *Atmosphere*, 2021, vol. 12, no. 12, art. 1637. DOI: 10.3390/atmos12121637.
12. Chernovalova M. Fuzzy case models for project management using a multi-ontology approach. *J. of Applied Informatics*, 2021, vol. 16, no. 2, pp. 4–16. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-2-4-16 (in Russ.).
13. Chernovalova M., Kakatunova T., Volkova I., Vlasova E. Algorithms and software for adapting the knowledge base of project management information systems. *J. of Applied Informatics*, 2021, vol. 16, no. 4, pp. 21–34. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-21-34 (in Russ.).
14. Antonov A.A., Bykov A.N., Chernyshev S.A. Review of the existing methods of forming the ontology of the scope in modeling. *Int. J. of Information Technology and Energy Efficiency*, 2021, vol. 6, no. 4, pp. 12–17 (in Russ.).
15. Oleynik P., Greger S. Ontological approach in the development of database applications. *J. of Applied Informatics*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 76–102 (in Russ.).

Для цитирования

Черновалова М.В., Черненский Л.А., Макарова И.М. Прецедентный подход для оценки влияния молний на системы уличного освещения с использованием онтологий // Программные продукты и системы. 2022. Т. 35. № 4. С. 729–736. DOI: 10.15827/0236-235X.140.729-736.

For citation

Chernovalova M.V., Chernensky L.L., Makarova I.M. A precedent approach to evaluating a lightning impact on a street lighting system using the ontologies. *Software & Systems*, 2022, vol. 35, no. 4, pp. 729–736 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.140.729-736.