

Разработка интеллектуальной СППР по предотвращению угроз энергетической безопасности

Г. Б. Загорулько, Л. В. Массель¹

В статье описывается интеллектуальная система поддержки принятия решений (ИСППР) по предотвращению угроз энергетической безопасности. При ее создании была использована методика, базирующаяся на современных подходах и принципах разработки систем такого класса. ИСППР предоставляет доступ к систематизированной информации об угрозах энергетической безопасности и помогает выбрать превентивные мероприятия при решении двух конкретных задач, моделирующих угрозу похолодания и аварии у производителя энергоресурса.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, интеллектуальные системы поддержки принятия решений, методика разработки интеллектуальных СППР, ИСППР по предотвращению угроз энергетической безопасности.

1. Введение

Понятие энергетической безопасности (ЭнБ) является одной из основных составляющих Концепции национальной безопасности Российской Федерации. Вопросами ЭнБ занимаются многие научные коллективы и государственные структуры. Правительством РФ принята Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. Утверждена разработанная в Минэнерго новая Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации [1].

Существует много определений ЭнБ, отражающих разные аспекты этого понятия. В институте систем энергетики им. М. А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН) в 1996 г. было предложено и позднее рекомендовано для использования специалистами отраслей энергетики следующее определение: «энергетическая безопасность – это состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушений бесперебойности энергоснабжения. При этом состояние защищенности – состояние, соответствующее в нормальных условиях обеспечению в полном объеме обоснованных потребностей (спроса) в энергии, в экстремальных условиях – гарантированному обеспечению минимально необходимого объема потребностей» [2].

ИСЭМ СО РАН на протяжении ряда лет занимается исследованиями проблем ЭнБ. Определение и моделирование угроз ЭнБ, разработка превентивных мероприятий являются важными актуальными задачами, решение которых осуществляется в рамках этих исследований. В частности, разработан ряд семантических моделей и прототипов основных компонентов СППР в исследованиях и обеспечении ЭнБ [3], выполнен онтологический инжиниринг предметной области «Энергетическая безопасность» [4].

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 19-07-00762, № 19-07-00351).

Описанная в статье интеллектуальная СППР (ИСППР) является совместной разработкой коллективов ИСЭМ СО РАН и Института систем информатики им. А. П. Ершова (ИСИ СО РАН). Для ее создания была использована методика, предложенная в ИСИ СО РАН, которая объединяет современные подходы и принципы создания ИСППР [5] и разработанные в ИСЭМ СО РАН онтологии и семантические модели [3, 4]. Рассматриваемая ИСППР предоставляет доступ к систематизированной информации о предметной области «Угрозы энергетической безопасности» и помогает выбрать превентивные мероприятия при решении двух конкретных задач: моделирование угрозы похолодания [6, 7] и моделирование аварии у производителя энергоресурса [8].

2. Существующие подходы и принципы разработки ИСППР

Разработка ИСППР является сложной важной задачей. Для ее решения предложено много подходов как в России, так и за рубежом.

В работе [9] дан ретроспективный обзор подходов к разработке СППР. В работе [10] подчеркивается, что не существует наилучшего стандартного подхода или методологии для разработки СППР. Автор выделяет три основных подхода, указывая их плюсы и минусы: 1) подход, обеспечивающий полный жизненный цикл системы (SDLC); 2) быстрое прототипирование и 3) подход конечного пользователя, при котором ЛПР может сам выбирать средства для решения своих задач. Второй и третий подходы позволяют быстро получить рабочую систему. Наиболее распространенным, универсальным и практически значимым автор считает подход быстрого прототипирования, который позволяет быстро оценить возможности полученной системы и при необходимости выполнить ее модификацию. Такой подход способствует объединению усилий лица, принимающего решения (ЛПР), и аналитика.

В последнее время много говорится о целесообразности использования методологии гибкой разработки программного обеспечения (Agile software development) при создании СППР [11]. Такие принципы этой методологии, как использование итеративной разработки, динамическое формирование требований, тесное взаимодействие разработчиков различного профиля, перекликаются с принципами быстрого прототипирования.

О подходах к созданию медицинских СППР упоминается в [12]. Авторы считают перспективными как разработку специализированных систем, так и использование гибких, легких сервисов, позиционируемых как отдельные приложения и интегрируемых между собой.

Об унифицированном подходе к разработке программного обеспечения СППР говорится в работе [13]. Данный подход подразумевает использование каркасной архитектуры программного обеспечения и следующих принципов проектирования: принцип свободы от субъективизма разработчиков, позволяющий системе быть максимально гибкой и подстраиваться под нужды и потребности ЛПР; принцип инвариантности по отношению к предметной области; принцип множественности методов, при котором СППР обеспечивает легкую и прозрачную интеграцию требуемых методов, советует пользователю, какой метод лучше применим и почему.

Популярным является подход, когда СППР строится для решения определенного класса задач, содержит множество методов и позволяет выбирать методы для решения конкретных задач. Описываемая в работе [14] экспертная СППР (ЭСППР) содержит около 50 методов принятия решений, а также базу знаний, представленную в виде последовательности вопросов об элементах задачи принятия решения и их различных реализациях (ответах). ЭСППР является web-приложением, что делает ее доступной широкому кругу пользователей и позволяет привлекать экспертов для оценки альтернативных вариантов решения. Данная ЭСППР ориентирована на решение экономических задач.

В настоящее время общепризнанным является мнение, что современная ИСППР должна быть информационной системой с развитыми средствами анализа и обработки хранящихся в ней данных [15]. СППР, предоставляющие доступ через интернет, описаны в работах [16, 17].

3. Используемая методика разработки ИСППР

В данной работе использовалась методика разработки ИСППР, предложенная в [5], которая объединяет современные подходы и принципы создания систем такого класса. На рис. 1 показаны её основные элементы. Разработка ИСППР основывается на таких принципах, как Максимальное использование готовых решений, Информативность, Доступность, Модульность, Открытость, Масштабируемость, Независимость от предметной области. При разработке используются Онтологический, Фрактально-стратифицированный [18], Сервис-ориентированный подходы, подходы Быстрого прототипирования и Гибкой разработки, Технологии Semantic Web, и Технология разработки информационно-аналитических интернет-ресурсов (ИАИР) [19].

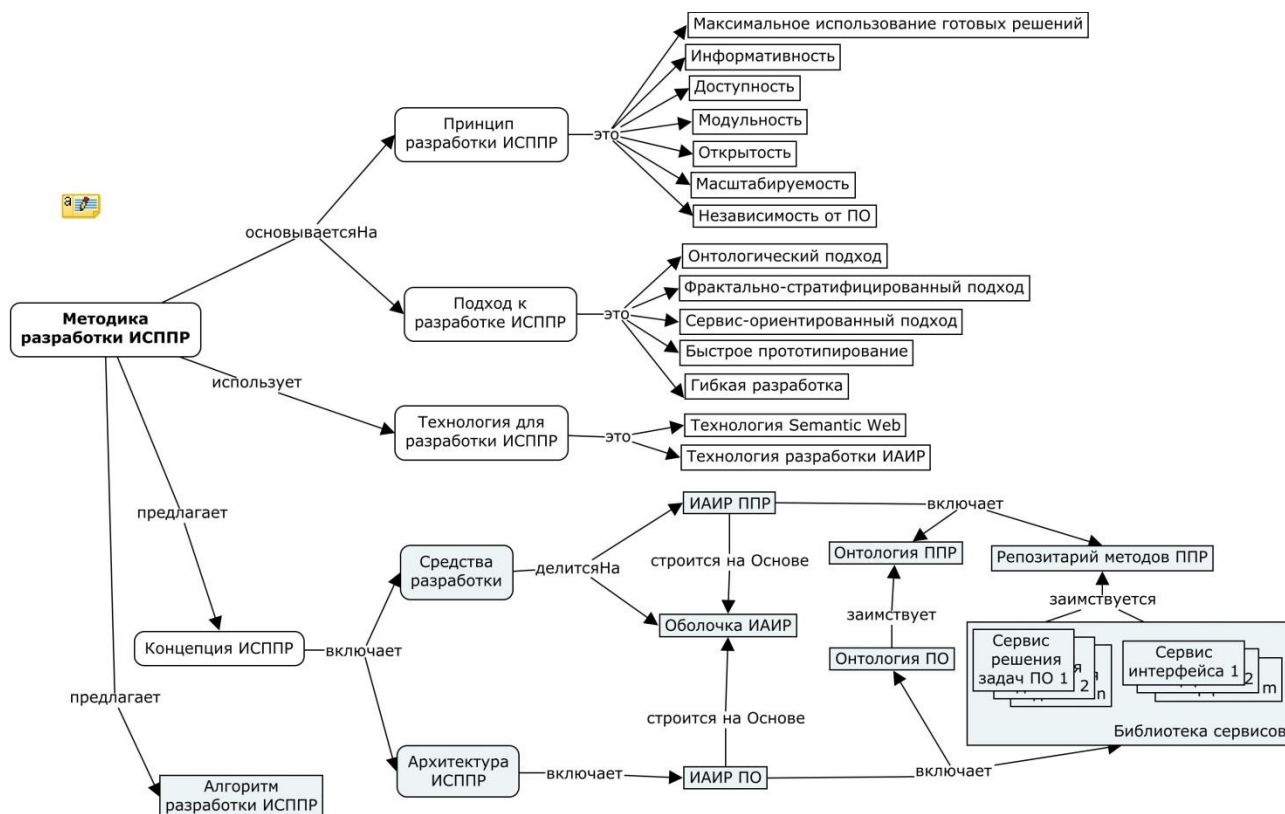


Рис. 1. Методика разработки ИСППР

Предлагаемые рассматриваемой методикой средства позволяют получать быстрые прототипы СППР, легко осуществлять их модификацию за счет использования онтологии области знаний (ОЗ) «Поддержка принятия решений» (ППР), построенного на её основе ИАИР, репозитория методов ППР и оболочки ИАИР [5]. Онтология ППР предоставляет концептуальный базис и позволяет организовать взаимодействие всех типов разработчиков ИСППР (экспертов, инженеров знаний, программистов). Фрактально-стратифицированный подход к разработке онтологии позволяет представить ОЗ ППР как систему подобных друг другу страт, в которых понятия описаны с точки зрения разных типов разработчиков [20]. ИАИР ППР предоставляет доступ к систематизированной на основе онтологии информации об ОЗ ППР. Методы ППР, входящие в репозиторий, реализованы в виде сервисов, что обеспечивает масштабируемость репозитория и позволяет легко интегрировать методы между собой. ИАИР ППР является каркасом разрабатываемой ИСППР, к которому подключаются необходимые сервисы, обеспечивающие её функциональность.

Предлагаемые средства для разработки ИСППР не зависят от их предметных областей, однако для облегчения представления знаний об этих областях разработчики могут восполь-

зоваться набором базовых онтологий и паттернов онтологического проектирования [21], методикой построения онтологий. Ресурс, созданный на основе этой онтологии и оболочки ИАИР, является информационной системой, систематизирующей знания о предметной области ИСППР и предоставляющей к ним содержательный доступ. Подключенные к ресурсу сервисы из репозитория делают его полноценной ИСППР и позволяют решать поставленные перед ней задачи.

В рамках предложенной методики были разработаны архитектура (рис. 2) и алгоритм построения типовой СППР, которые были конкретизированы для нескольких областей, в т.ч. для энергетики.

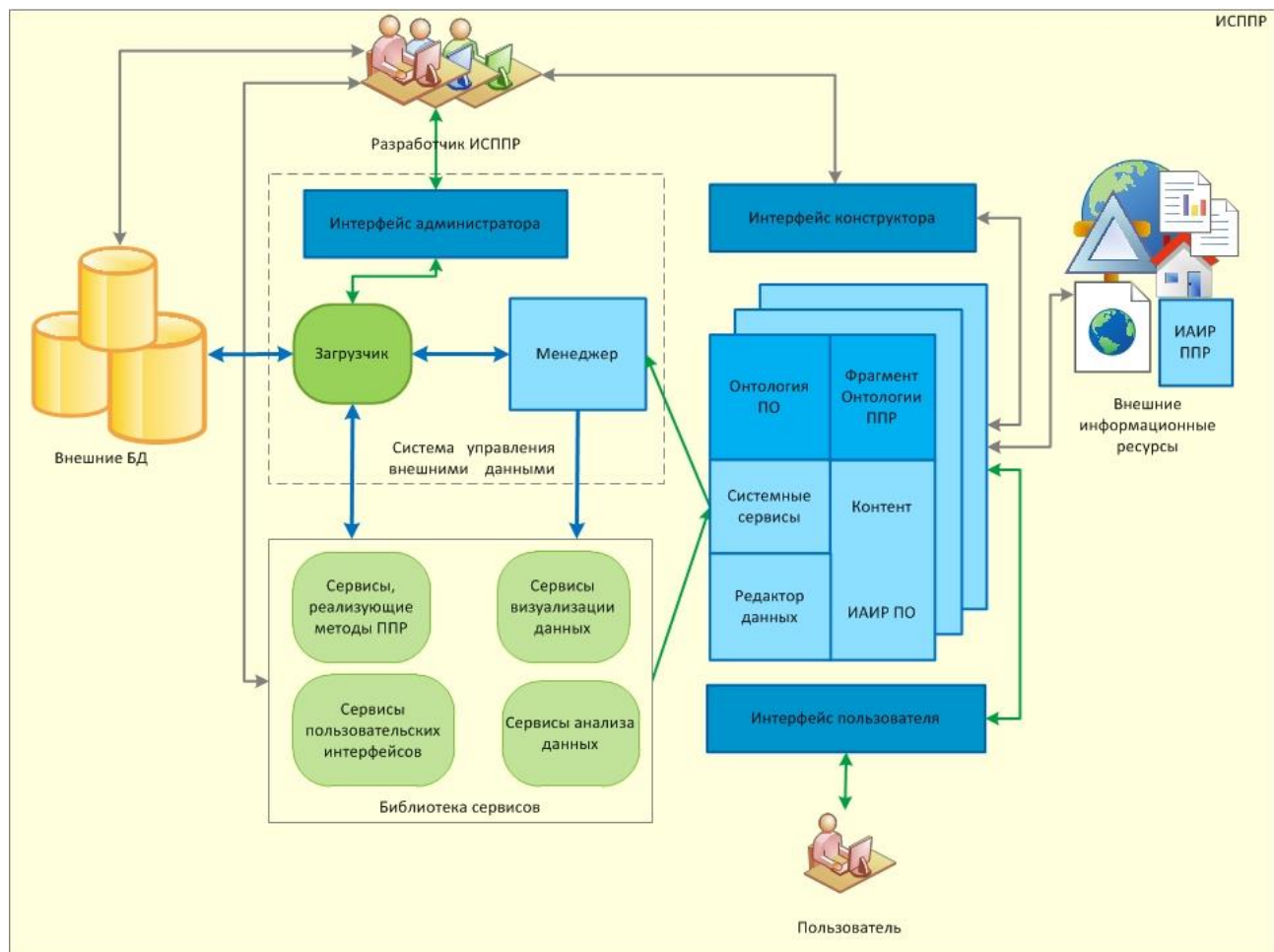


Рис. 2. Архитектура типовой ИСППР

4. Разработка ИСППР «Угрозы энергетической безопасности»

Рассматриваемая ИСППР построена на основе системного анализа предметной области «Угрозы энергетической безопасности». Были выделены цели, задачи, объекты, предметы, субъекты, методы исследования [2, 6, 8], использована онтология угроз ЭНБ, фрагмент которой представлен на рис. 3.

Предполагалось, что ИСППР «Угрозы энергетической безопасности» будет ориентирована на выбор превентивных мероприятий для решения конкретных задач в области энергетической безопасности. Были построены модели двух задач, с помощью ресурса ИАИР ППР выбраны методы и средства их решения. В онтологии ППР выделен фрагмент, описывающий классы, к которым принадлежат решаемые ИСППР конкретные задачи и их связи с другими

классами онтологии. Выделенный фрагмент был встроен в Онтологию угроз ЭНБ. В репозитории методов ППР выделены методы, решающие задачи рассматриваемой ИСППР, и встроены в Библиотеку сервисов (рис. 1).

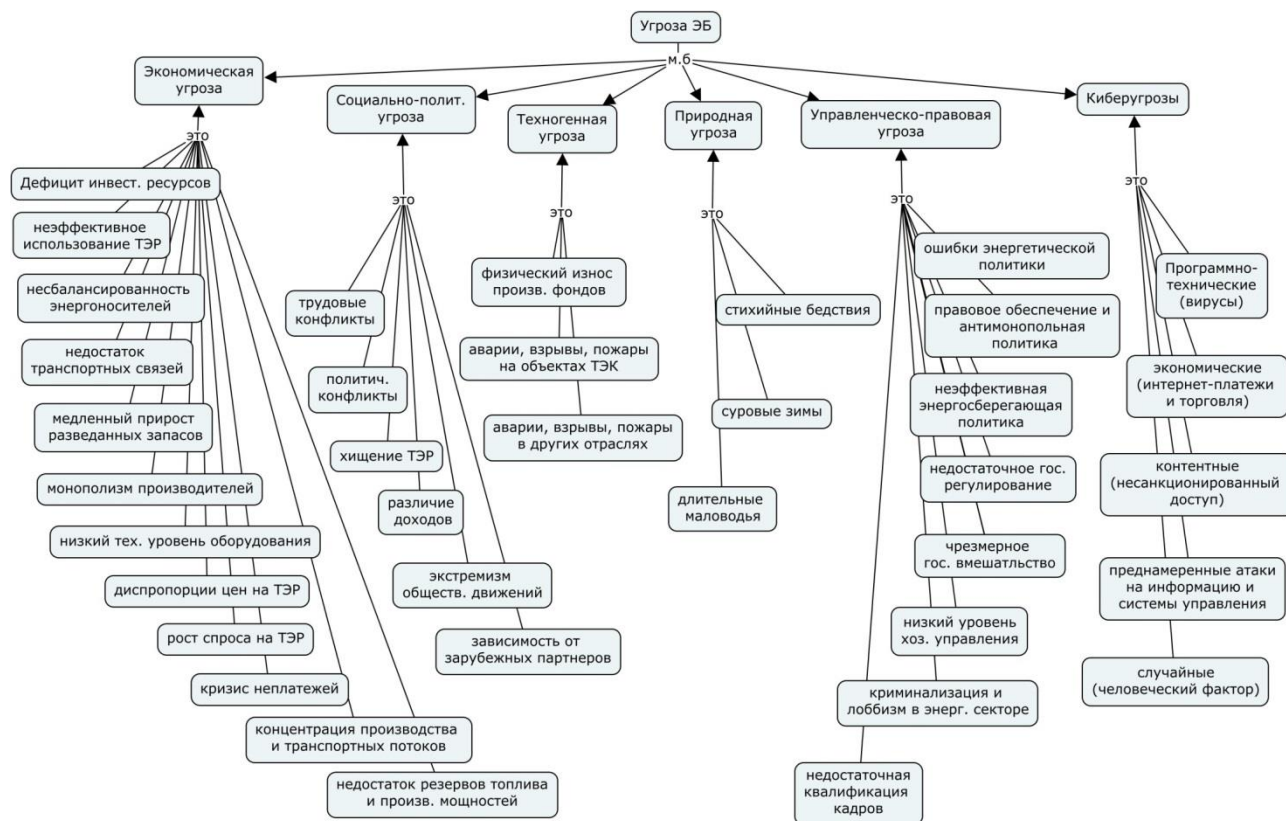


Рис. 3. Иерархия угроз ЭНБ

На основе Онтологии угроз ЭНБ был разработан ресурс по угрозам ЭНБ (рис. 4). В его контент добавлены информационные объекты, описывающие решаемые ИСППР задачи. Каждый такой информационный объект содержит неформальное описание задачи, связи с другими объектами онтологии – предметами и объектами исследования разрабатываемой ИСППР, угрозами, для предотвращения которых она предназначена, публикациями, в которых описывается задача, методами ППР и программными разработками, подходящими для решения данной задачи, необходимыми входными данными и способами их представления, сервисами, позволяющими задать входные данные, запустить процесс решения задачи и посмотреть результат.

ИСППР «Угрозы энергетической безопасности» решает две конкретные задачи, позволяющие определить превентивные мероприятия для обеспечения бесперебойного энергоснабжения потребителей в случаях реализации угрозы похолодания [6, 7] и угрозы аварии у производителя энергоресурса [8].

В первой задаче моделируется ситуация, когда из-за снижения температуры наружного воздуха относительно среднесезонной в определенные месяцы отопительного периода повышается потребление тепло- и электроэнергии. Модель ситуации отражает аналитические зависимости между этими параметрами и позволяет выбрать превентивные меры (оценить, насколько нужно увеличить выработку указанных видов энергии, чтобы не допустить ее дефицита).

Во второй задаче моделируется реакция сети энергоснабжения на угрозы технологического типа. В случае аварийной ситуации у какого-либо производителя подключаются пункты резервного хранения энергоресурсов. Суммарное содержание ресурса в таких пунктах должно компенсировать его сокращение у производителей в результате аварии. Любой потребитель может получать ресурс из любого пункта резервного хранения, т.е. потенциально между ними

можно установить связь. В модели задачи задаются веса таких связей. Цель решаемой задачи – оптимизировать потоки ресурсов из резервных хранилищ потребителям с учетом весов их связей.

Главная
Онтология
О СППР
🔍 Вход

УГРОЗЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ



- ➕ Географическое место
- ➕ Деятельность
- ➖ Задача Энергетической безопасности
 - Глобальная задача
 - Конкретная задача
- ➕ Информационный ресурс
- ➖ Объект Энергетической безопасности
 - Инфраструктура энергетики
 - Объект энергетики
- ➖ Ресурс
 - ➕ Топливо-энергетический ресурс
 - Энергетический ресурс
 - Энергетическая отрасль
- Организация
- Персона
- ➕ Поддержка принятия решений
- ➖ Предмет Энергетической безопасности
 - Критерий Энергетической безопасности
 - Производственный процесс энергетики
 - Управленческий процесс энергетики
- ➕ Факторы влияния на Энергетическую безопасность
 - Публикация
 - Событие
 - Субъект Энергетической безопасности
- ➕ Угроза Энергетической безопасности
 - Цель Энергетической безопасности
 - Энергетическая безопасность

Табличное представление
Графовое представление

Свойства объекта

Название	Авария у производителя энергоресурса
Описание	/threats/uploads/59/fe/b4bee478833840f37443534842ae.pdf

Связи объекта

ликвидирует последствия
Угроза Энергетической безопасности
ЧС на объектах ТЭК
связана с Задачей
Задача Энергетической безопасности
Разработка и реализация превентивных мероприятий
Разработка ликвидационных мероприятий

Обратные связи объекта

описывает Задачу
Публикация
Определение и угрозы энергетической безопасности, 2016, статья
решает Конкретную Задачу
Метод / средство
Метод недоопределенных вычислений

Инструкция	/threats/uploads/75/83/1554f7f6be9cb89f724302899608.pdf
Ввод данных	http://uniserv.iis.nsk.su/threats-files/web/accident/Client.html
Модель Задачи	/threats/uploads/0a/1f/8913665556823c11ecfb7110e923.uni
Решатель	http://uniserv.iis.nsk.su/unicalc

© ИСИ, ИСЭМ 2018–2019
Ресурс разработан при финансовой поддержке РФФИ (проект №16-07-00569)

Рис. 4. ИСППР «Угрозы энергетической безопасности»

Для решения этих задач был выбран метод недоопределенных вычислений [22]. Данный метод позволяет представить модель решаемой задачи в виде набора параметров, связанных математическими соотношениями, без разделения параметров на входные и выходные. Параметры могут задаваться интервальными значениями, которые сужаются в процессе вычислений. Для каждой задачи были реализованы сервисы, позволяющие пользователям ИСППР задавать значения параметров модели, запускать модели на счет и отображать полученные результаты (рис. 5).

Рассмотрим более подробно использование ИСППР «Угрозы энергетической безопасности» и метода недоопределенных вычислений для выбора превентивных мероприятий при угрозе похолодания. Модель этой ситуации представляется следующими соотношениями:

$$\Delta B_{т/э} = \frac{\Delta t_{нар}}{t_{вн} - t_{нар.ср.м.}} \times 100 \%,$$

где $\Delta B_{T/\varepsilon}$ – изменение потребления теплоэнергии вследствие похолодания, $\Delta t_{\text{нар}}$ – отклонение температуры наружного воздуха от средней в рассматриваемом месяце, $t_{\text{вн}}$ – температура воздуха отапливаемых помещений, $t_{\text{нар.ср.м.}}$ – средняя температура наружного воздуха в рассматриваемом месяце.

$$\Delta B_{\varepsilon/\varepsilon} = 0.3 \times \Delta B_{T/\varepsilon},$$

где $\Delta B_{\varepsilon/\varepsilon}$ – изменение потребления электроэнергии, принимаемое равным 30 % от изменения потребления тепла $\Delta B_{T/\varepsilon}$:

$$B_{T/\varepsilon}^{\text{дефицит}} = \frac{B_{T/\varepsilon}^{\text{норм}} * \Delta B_{T/\varepsilon}}{100} - D_{T/\varepsilon}^{\text{кот}} - D_{T/\varepsilon}^{\text{ТЭЦ}},$$

где $B_{T/\varepsilon}^{\text{дефицит}}$ – дефицит теплоэнергии вследствие похолодания (Гкал); $B_{T/\varepsilon}^{\text{норм}}$ – нормальное потребление теплоэнергии (Гкал); $\Delta B_{T/\varepsilon}$ – увеличение потребления теплоэнергии (%); $D_{T/\varepsilon}^{\text{кот}}$ – увеличение выработки тепла на котельных (Гкал), $D_{T/\varepsilon}^{\text{ТЭЦ}}$ – увеличение выработки тепла на ТЭЦ (Гкал).

$$B_{\varepsilon/\varepsilon}^{\text{дефицит}} = \frac{B_{\varepsilon/\varepsilon}^{\text{норм}} * \Delta B_{\varepsilon/\varepsilon}}{100} - D_{\varepsilon/\varepsilon}^{\text{ТЭС}},$$

где $B_{\varepsilon/\varepsilon}^{\text{дефицит}}$ – дефицит электроэнергии вследствие похолодания (кВт*ч); $B_{\varepsilon/\varepsilon}^{\text{норм}}$ – нормальное потребление электроэнергии (кВт*ч); $\Delta B_{\varepsilon/\varepsilon}$ – увеличение потребления электроэнергии (%); $D_{\varepsilon/\varepsilon}^{\text{ТЭС}}$ – увеличение выработки электроэнергии на ТЭС (кВт*ч).

Среднемесячная наружная температура

Месяц	Температура (°C)
Январь	-15.300
Февраль	-13.300
Март	-3.700
Апрель	6.400
Май	11.500
Июнь	19.000
Июль	19.600
Август	17.400
Сентябрь	11.300
Октябрь	2.900
Ноябрь	-8.400
Декабрь	-11.100

Параметры модели

Параметр	Значение	Единица
Текущий месяц	Январь	
Средняя температура в текущем месяце	-15.300	°C
Расчетная температура воздуха отапливаемых помещений	18	°C
Отклонение среднемесячной наружной температуры в текущем месяце	10	°C
Нормальное потребление теплоэнергии	22000	тыс. Гкал
Изменения потребления теплоэнергии	29.8	%
Увеличение выработки тепла на котельных	1920	тыс. Гкал
Увеличение выработки тепла на ТЭЦ	4686.606	тыс. Гкал
Дефицит теплоэнергии	0	тыс. Гкал
Нормальное потребление электроэнергии	18600	млн кВт*ч
Изменения потребления электроэнергии	8.9	%
Увеличение выработки электроэнергии на ТЭС	1675.675	млн кВт*ч
Дефицит электроэнергии	0	млн кВт*ч

☐ заменить текущую модель Заккрыть

Параметры модели

Параметр	Значение	Единица
Текущий месяц	Январь	
Расчетная температура воздуха отапливаемых помещений	18	°C
Отклонение среднемесячной наружной температуры в текущем месяце	10	°C
Нормальное потребление теплоэнергии	22000	тыс. Гкал
Изменения потребления теплоэнергии	[-100, 100]	%
Увеличение выработки тепла на котельных	1920	тыс. Гкал
Увеличение выработки тепла на ТЭЦ	[0,5000]	тыс. Гкал
Дефицит теплоэнергии	0	тыс. Гкал
Нормальное потребление электроэнергии	[0000, 23000]	млн кВт*ч
Изменения потребления электроэнергии	[-100, 100]	%
Увеличение выработки электроэнергии на ТЭС	[0,2500]	млн кВт*ч
Дефицит электроэнергии	0	млн кВт*ч

Connected to server

Рис. 5. Исходные данные и результаты решения задачи, моделирующей угрозу похолодания

Значения среднемесячных температур и нормального потребления энергоресурсов в определенных регионах и в определенные периоды берутся из источников статистических данных. Метод недоопределенных вычислений позволяет задавать значения нормального потребления тепло- и электроэнергии за определенный месяц интервалами, охватывающими значения этих параметров за несколько лет. Запустив процесс вычислений, пользователь в общем случае получает интервальные значения остальных параметров. Задавая более узкие значения одних параметров в пределах полученных интервалов, он получает суженные, а возможно, и точные значения других.

На рис. 5 показаны элементы пользовательского интерфейса с исходными данными и результатами решения рассматриваемой задачи. Поскольку метод не разделяет параметры на входные и выходные, на одной и той же модели можно решать как прямые, так и обратные задачи. Так, задав значения изменения температуры, нормального потребления энергоресурсов и значения увеличения их выработки, получим значения дефицита тепло и электроэнергии. А задав нулевые значения дефицита, узнаем, насколько нужно увеличить выработку энергоресурсов.

5. Заключение

Предлагаемая методика разработки ИСППР основана на современных подходах и принципах построения систем данного класса. Предлагаемые ею средства позволяют быстро строить ИСППР в различных слабоформализованных областях. Методика была использована для разработки ИСППР «Угрозы энергетической безопасности». Каркасом данной ИСППР является ИАИР, построенный на основе онтологии угроз ЭНБ. ИСППР предоставляет доступ к систематизированной информации об угрозах ЭНБ и решает две конкретные задачи: моделирование угрозы похолодания и моделирование аварии у производителя энергоресурса. Дальнейшее развитие методики предполагает расширение репозитория методов ППР, в частности разработку сервисов взаимодействия с конечными пользователями.

Литература

1. Доктрина ЭБР [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14766> (дата обращения: 16.07.2019).
2. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения / Н. И. Пяткова [и др.]; отв. ред. Воропай Н. И.; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л. А. Мелентьева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. 198 с.
3. Массель Л. В., Массель А. Г. Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике // Вычислительные технологии. 2013. Т. 18. Специальный выпуск. С. 37–44.
4. Массель Л. В., Ворожцова Т. Н., Пяткова Н. И. Онтологический инжиниринг для поддержки принятия стратегических решений в энергетике // Онтология проектирования. 2017. Т. 7, № 1 (23). С. 66–76. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-66-76.
5. Загорулько Г. Б. Методические аспекты разработки интеллектуальных СППР в слабоформализованных предметных областях на основе информационно-аналитических ресурсов // Труды 16-й Национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2018), 24–27 сентября 2018 г., Москва. Т. 1. С. 36–43.
6. Пяткова Н. И., Массель Л. В., Массель А. Г. Методы ситуационного управления в исследованиях проблем энергетической безопасности // Известия Академии наук. Энергетика. 2016. № 4. С. 156–163.

7. Массель А. Г., Пяткова Е. В. Интеллектуальные информационные технологии для исследований проблем энергетической безопасности // Труды Всероссийского семинара с международным участием «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики»: Вып. 64. Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2014. С. 472–483. ISBN 978-5-93908-115-3.
8. Карпов В. В., Симанчев Р. Ю. Определение и угрозы энергетической безопасности // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2016. № 4. С. 30–38.
9. Garaibeh N. K., Al-Raddadi A. Survey of DSS Development Methodologies. Encyclopedia of Business Analytics and Optimization, 2014.
https://www.researchgate.net/publication/267625331_Survey_of_DSS_Development_Methodologies (date views: 06.02.2019).
10. Power D. J. Decision Support Systems Hyperbook. Cedar Falls, IA: DSSResources.COM, 2000.
<http://dssresources.com/subscriber/password/dssbook> (date views: 06.02.2019).
11. Garaibeh N. K. DSS Development and Agile Methods: Towards a new Framework for Software Development Methodology // International Journal of Machine Learning and Computing. 2012. V. 2, № 4. <https://pdfs.semanticscholar.org/d2be/d1bd3a1eb792a774145826177f2cf5dbb803.pdf> (date views: 06.02.2019).
12. Ефименко И. В., Хорошевский В. Ф. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в медицине: ретроспективный обзор состояния исследований и разработок и перспективы // Материалы конференции ОСТИС, Минск, Белоруссия, февраль 2017. № 7. С. 251–260.
13. Судаков В. А., Осипов В. П. Унификация разработки программного обеспечения прикладных СППР // Материалы Всероссийского совещания по проблемам управления, Москва, 2014. С. 8855–8863.
14. Кравченко Т. К. Развитие экспертной системы поддержки принятия решений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2013. № 4. С. 72–80.
15. Халин В. Г., Чернова Г. В., Юрков А. В. Методологические аспекты создания и функционирования систем поддержки принятия решений // Экономический анализ: теория и практика. 2015. № 7 (406). С. 20–33.
16. Edwards M. P., Lippeveld T., Khatri U., Kunaka D., Mwebaze M., Tohouri R. Building a Web-Based Decision Support System. MEASURE Evaluation. 2018. <https://www.measureevaluation.org/resources/publications/fs-18-288> (date views: 06.02.2019).
17. Zhang D., Chen X., Yao H. Development of a Prototype Web-Based Decision Support System for Watershed Management // Water. 2015. № 7. P. 780–793.
18. Массель Л. В. Фрактальный подход к структурированию знаний и примеры его применения // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 2 (20). С. 149–161.
19. Загоруйко Ю. А., Загоруйко Г. Б., Боровикова О. И. Технология создания тематических интеллектуальных научных интернет-ресурсов, базирующаяся на онтологии // Программная инженерия. 2016. Т. 7, № 2. С. 51–60.
20. Загоруйко Г. Б. Разработка онтологии для интернет-ресурса поддержки принятия решений в слабоформализованных областях // Онтология проектирования. 2016. Т. 6, № 4 (22). С. 485–500.
21. Zagorulko Y., Zagorulko G., Borovikova O. Implementation of Content Patterns in the Methodology of the Development of Ontologies for Scientific Subject Domains // Communications in Computer and Information Science. 2018. V. 934. P. 260–272.
22. Нариньяни А. С., Телерман В. В., Ушаков Д. М., Швецов И. Е. Программирование в ограничениях и недоопределённые модели // Информационные технологии. 1998. № 7. С. 13–22.

Статья поступила в редакцию 23.07.2019;
переработанный вариант – 30.08.2019.

Загорулько Галина Борисовна

н.с, Институт систем информатики имени А. П. Ершова СО РАН (630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 6), e-mail: gal@iis.nsk.su.

Массель Людмила Васильевна

д.т.н., профессор, зав. лабораторией информационных технологий в энергетике, Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130), e-mail: massel@isem.irk.ru.

Development of intelligent DSS for preventing energy security threats

G. Zagorulko, L. Massel

The paper considers an intelligent decision support system (IDSS) for preventing energy security threats. This system is created by means of a methodology that combines modern approaches and principles for developing systems of this class. IDSS provides access to systematized information on energy security threats and helps to choose preventive measures for solving two specific tasks: simulation of the cooling threat and accident simulation caused by energy producer.

Keywords: energy security, intelligent decision support systems, the methodology for the development of intelligent DSS, IDSS for energy security threats.