

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.В. Еделев, С.М. Сендеров, Н.И. Пяткова

Описано применение геоинформационных систем для решения проблем, возникающих при анализе результатов моделирования долгосрочного развития топливно-энергетического комплекса страны. Показана возможность визуальной оценки состояния энергетики страны в анализируемый момент времени на основе набора электронных карт, связанных с системообразующими энергетическими объектами. Предложены принципы отображения системы энергетики на карте как сети распределения энергоресурсов. Разработано программное обеспечение для комплексного анализа структуры и территориально-производственных связей энергетики страны в различных расчетных ситуациях с учетом требований энергетической безопасности.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, программно-вычислительный комплекс, топливно-энергетический комплекс, модель, геоинформационная система.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из важнейших направлений обеспечения приемлемого уровня жизни общества состоит в обеспечении энергетической безопасности (ЭБ), которую по сути можно характеризовать как состояние защищенности граждан, общества и экономики страны от дефицита в обеспечении их обоснованных потребностей в энергии [1]. Сложность решения проблемы обеспечения ЭБ требует применения различных моделей и математических методов при формировании управляющих решений на всех этапах развития и эксплуатации топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и составляющих его систем энергетики. Существенную помощь в таких исследованиях могут оказать геоинформационные системы (ГИС) [2] как средство визуализации информации о работе таких сложных пространственно-распределенных систем, как ТЭК и системы энергетики.

Исследование сценариев развития ТЭК с позиций ЭБ и обоснование мероприятий по ее обеспечению может проводиться по схеме, представленной на рис. 1. В ее основу положено *формирование множества сценариев развития ТЭК*, отражающих

наиболее представительные или характерные сочетания внешних условий развития и функционирования ТЭК на рассматриваемую перспективу. На этом этапе ГИС могут применяться, например, для определения мест установки и оценки потенциальных возможностей возобновляемых источников энергии [3].

Следующие две задачи — *оценка состояния ТЭК, анализ последствий воздействия негативных возмущений, выявление потенциально слабых мест* в топливно- и энергоснабжении потребителей и *оценка эффективности мероприятий* при конкретных сценариях развития ТЭК — рассматриваются на базе анализа балансов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) по опорным годам с разбивкой на территориальные и отраслевые блоки. Для адекватного учета энергетических связей между территориальными единицами и отраслевыми блоками и детализация крупных потребителей ТЭР в балансовой экономико-математической модели ТЭК России представлена необходимая информационная база. Оценка состояния ТЭК наряду с анализом балансов ТЭР включает в себя комплексную проверку соответствия состояния ТЭК (без учета мер по обеспечению ЭБ) требованиям ЭБ, описанным в форме пороговых значений набора индикаторов.

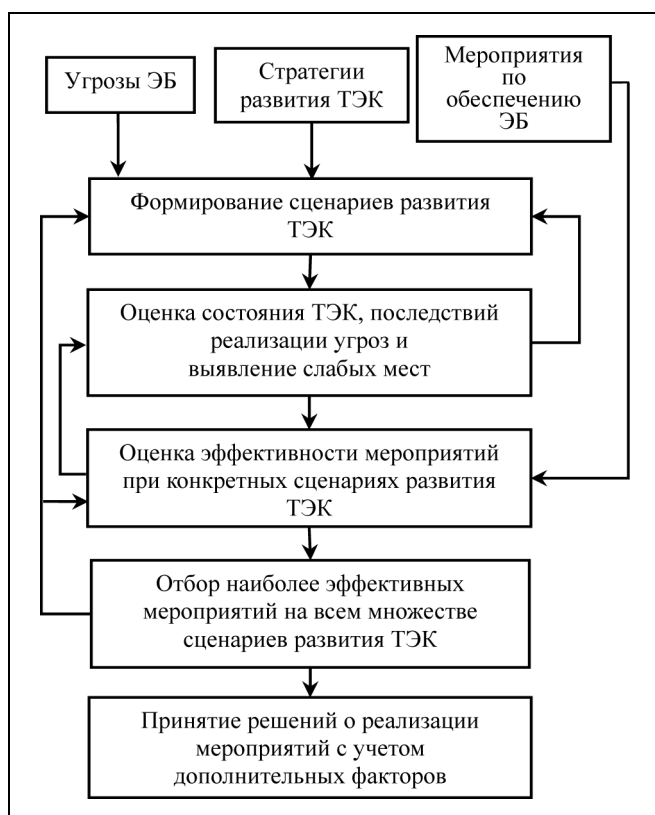


Рис. 1. Взаимосвязь основных задач в общей схеме исследований сценариев развития энергетики с позиций ЭБ

торов ЭБ [4]. На данных этапах ГИС могут использоваться для интерпретации результатов моделирования [5, 6]. На основе исходных данных в ГИС создаются карты расположения объектов энергетики в виде тематических слоев и наборов данных с географической привязкой. Результаты моделирования преобразуются в наборы данных с соответствующей структурой, добавляются к своему тематическому слою и отображаются в виде масштабируемых символов, цветов раскраски геометрических объектов, графиков [7].

Оценка приемлемости и эффективности мероприятий по обеспечению ЭБ при анализе конкретных сценариев развития ТЭК и последующий отбор наиболее эффективных мероприятий на всем множестве сценариев из-за сложности используемых моделей и слабой формализации критериев производятся в рамках соответствующих многоитерационных имитационных процедур при значительной роли эксперта.

На завершающем этапе по результатам исследований *принимаются решения о реализации мероприятий по обеспечению ЭБ.* Большую роль при формировании таких решений играют экспертные оценки.

1. МОДЕЛЬ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Эффективным инструментом для анализа возможных последствий реализации крупных угроз ЭБ и оценки эффективности некоторых превентивных мероприятий (прежде всего, резервирующих) для преодоления этих угроз показала себя балансовая экономико-математическая модель ТЭК [8, 9]. По принципам построения и приемам описания связей и свойств систем энергетики данная модель похожа на обобщенную сетевую модель систем энергетики США [10], а по своим возможностям она не уступает как модели развития электроэнергетики и теплоснабжения в рамках ТЭК страны EPOS [11] (часть модельно-информационного комплекса SCANNER [12]), так и зарубежным моделям MARKAL [13], MESSAGE [14], EFOM [15], TIMES [16]. Данная модель ТЭК позволяет:

- рассматривать энергетику страны как единое целое от производства энергетических ресурсов до потребления конечных энергоносителей в основных отраслях экономики, включая все стадии переработки и преобразования энергоресурсов;

- исследовать процесс развития технологической и территориальной структуры энергетики;

- предусматривать оптимизацию развития энергетики, т. е. поиск лучших с позиций ЭБ вариантов ее развития в рассматриваемой перспективе.

Модель ТЭК включает в себя модели основных систем энергетики: газоснабжения, углеснабжения, нефте- и нефтепродуктоснабжения, электроэнергетики.

В модели наряду с производственным и распределительным (транспортным) блоками присутствует блок потребления, в котором представлены основные потребители продукции отраслей ТЭК страны, ранжированные по соответствующим категориям.

Формализовано ограничения рассматриваемой задачи записываются в виде системы линейных уравнений и неравенств:

$$S_H + AX - \sum_{t=1}^T y^t - \sum_{h=1}^H S_k^h = 0, \quad (1)$$

$$0 \leq X \leq D, \quad (2)$$

$$0 \leq y^t \leq R^t, \quad (3)$$

$$0 \leq S_k^h \leq S^h, \quad (4)$$

$$\sum_{h=1}^H S^h \leq S, \quad (5)$$

где t — категория потребителей; h — категория запасов; X — искомый вектор, компоненты которого характеризуют интенсивность применения технологических способов функционирования энергетических объектов (добычи, переработки, преобразования и транспорта энергоресурсов); Y^t — искомый вектор, компоненты которого характеризуют объемы потребления отдельных видов топлива и энергии отдельными категориями потребителей; S_k^h — искомый вектор, компоненты которого характеризуют объемы запасов топлива выделенной категории h на конец рассматриваемого периода; S_H — заданный вектор, компоненты которого равны исходным уровням запасов энергоресурсов; A — матрица технологических коэффициентов производства (добычи, переработки, преобразования) и транспорта отдельных видов топлива и энергии (затраты — выпуск); D — вектор, определяющий технически возможные интенсивности применения отдельных технологических и производственных способов; R^t — вектор с компонентами, равными объемам заданного потребления отдельных видов топлива и энергии отдельными категориями потребителей; S^h — вектор, компоненты которого отражают нормативный объем запасов категории h ; S — вектор с компонентами, равными объемам хранилищ (складов) данного энергоресурса.

Целевая функция при этом имеет вид:

$$(C, X) + \sum_{t=1}^T (r^t, g^t) + \sum_{h=1}^H (q^h, S^h - S_k^h) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Первая составляющая такой целевой функции отражает издержки, связанные с функционированием отраслей ТЭК, входящих в него систем и подсистем энергетики. Здесь C — вектор удельных затрат по отдельным технологическим способам функционирования действующих, реконструируемых или модернизируемых, а также вновь сооружаемых энергетических объектов.

Вторая составляющая — ущербы от дефицита по каждому виду топлива и энергии у каждой из выделенных категорий потребителей. Размеры дефицита энергоресурсов g^t у потребителей категории t соответствуют разности $R^t - y^t$. Компоненты вектора r^t с некоторой условностью названы “удельными ущербами”. Стоимостная оценка реального (полного) ущерба от дефицита, как известно, вызывает определенные трудности из-за многообразия форм проявления последствий от дефицита энергоресурсов, которые не всегда можно выявить и количественно определить. В данном случае эта трудность преодолевается путем введе-

ния шкалы приоритетов в удовлетворении спроса на отдельные виды топлива и энергии потребителей рассматриваемых категорий.

Третья составляющая аналогична второй и соответствует ущербу от ненакопления запасов. Соотношения компонент векторов q^h отражают предпочтительность (в смысле будущих возможных условий функционирования ТЭК) в тех или иных запасах по видам топлива и в территориальном разрезе.

2. ПАКЕТ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ «КОРРЕКТИВА»

Первые две задачи схемы исследований развития ТЭК с позиций ЭБ (см. рис. 1) решаются с помощью пакета прикладных программ (ППП) «Корректива» [17], в котором выделим основные программные модули:

- формирования сценариев развития ТЭК (m_1),
- создания графа развития ТЭК (m_2),
- оценки допустимости состояния ТЭК (m_3),
- поддержки экспертного анализа конечного графа развития ТЭК (m_4).

Информационно-логические связи объектов предметной области пакета представлены на рис. 2.

Основная задача модуля m_1 — чтение информации U из базы данных и формирование на ее основе согласно целям исследования одного из конкретных сценариев W развития ТЭК. В качестве исходной информации U принимаются:

- множество допустимых (осуществимых) стратегий развития ТЭК;
- перечень критических ситуаций (сценариев возмущений), которые могут возникнуть в течение периода времени T вследствие реализации угроз ЭБ;
- заранее сформулированный набор основных индикаторов ЭБ.

База данных работает под управлением системы управления базами данных Firebird [18].

Модуль m_2 отвечает за формирование графа развития ТЭК и его обход. Сценарий W развития ТЭК W может быть представлен в виде направленного во времени T графа (рис. 3), узлы $0, 1, 2, \dots, N$ которого соответствуют возможным состояниям ТЭК в опорные годы $T_1, T_2, T_3, \dots, T_{N+1}$. К каждому из узлов $0, 1, 2, \dots, N$ привязываются данные для уравнений (1)–(6), описывающие состояния $P_0, P_1, P_2, \dots, P_N$ ТЭК опорные годы.

Стратегии развития ТЭК, сценарии возмущений реализуются изменением по определенным законам значений элементов матрицы A и векторов,

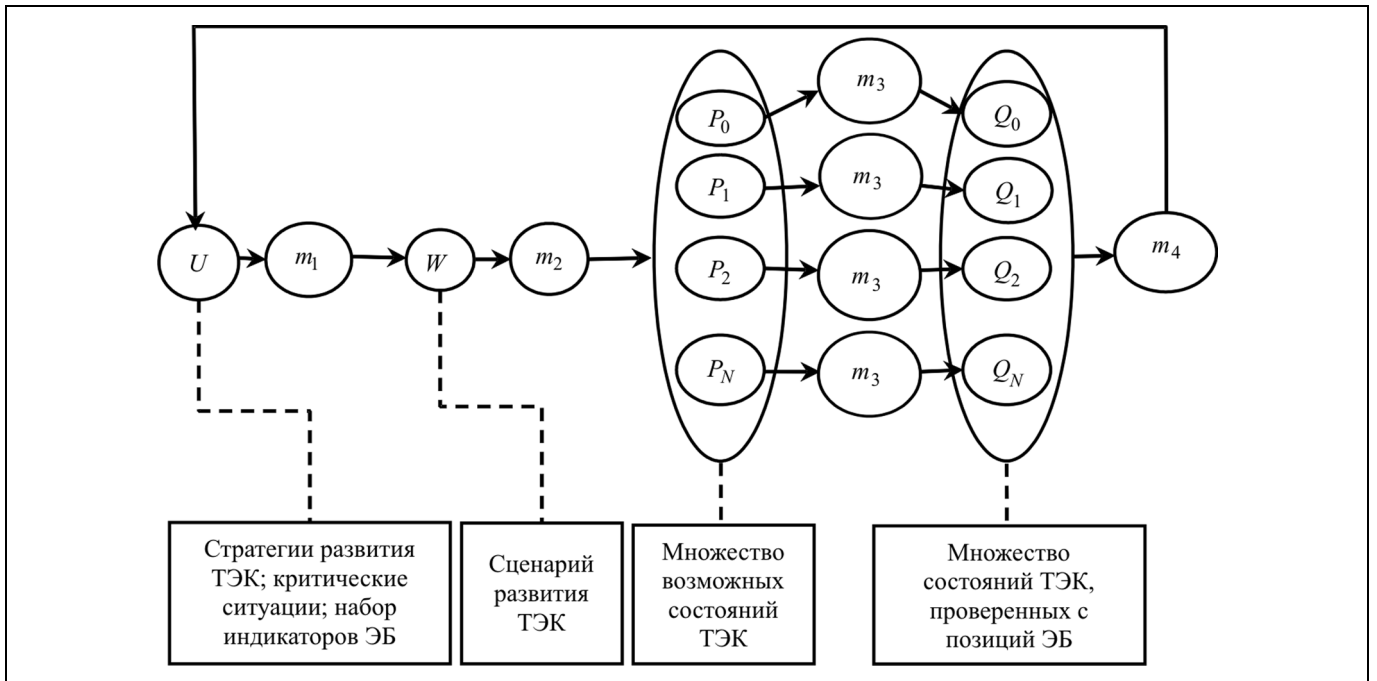


Рис. 2. Основные составляющие ППП «Корректива»

входящих в систему уравнений (1)–(6). В простейшем случае это может быть групповая замена значений компонент векторов D и R^t . Подобным образом модуль m_2 создает выходное множество P , состоящее из возможных состояний $P_0, P_1, P_2, \dots, P_N$.

Ядро модуля m_2 представляет собой несколько десятков скриптов на интерпретируемом языке программирования Lua [19]. Ключевой компонент модуля m_2 — генератор моделей [16], который создает новое состояние ТЭК и управляется набором правил, преобразующих исходные данные сценария W развития ТЭК в векторы и матрицу A , входящих в уравнения (1)–(6). Исследователь имеет возможность изменять правила преобразования исходной информации. Модуль m_3 оценивает допустимость одного из множества P состояний ТЭК с помощью многоступенчатой системы ограничений. На первом этапе с помощью решателя `lp_solve` [20] находится решение модели (1)–(6) как задачи

линейного программирования. Если решение существует, то на втором этапе на основе результатов решения вычисляются значения индикаторов ЭБ и проверяется уровень ЭБ.

Результаты работы системы ограничений модуля m_3 вместе с состояниями $P_0, P_1, P_2, \dots, P_N$ образуют выходное множество Q состояний ТЭК $Q_0, Q_1, Q_2, \dots, Q_N$ с оцененным уровнем ЭБ.

Модуль m_4 собирает из множества Q конечный граф развития ТЭК и помогает исследователю провести его анализ.

Архитектура ППП «Корректива» проектировалась с учетом его использования в распределенной вычислительной среде [21]. После создания графа развития ТЭК каждый его узел полностью независим от других в смысле проведения расчетов. При большом размере графа можно существенно сократить время вычислений с помощью распределенных вычислений, разбив граф на небольшие части и просчитав их одновременно на узлах распределенной вычислительной среды.

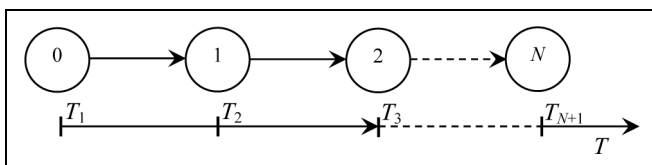


Рис. 3. Представление сценария развития ТЭК в виде графа

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА

Полученное на модели (1)–(6) решение анализируется по так называемым балансовым таблицам, сгруппированным по системам энергетики, входящим в состав ТЭК. В связи со значительными

ми объемами информации, включающими в себя технологические характеристики около 50 объектов добычи нефти, 30 — газа, 80 — угля, около 700 источников электроэнергии, 32 потребителей сырой нефти, около 80 потребителей газа и столько же потребителей нефтепродуктов, более 2500 дуг транспорта, исследователь испытывает большие сложности с формированием четкой логической схемы работы исследуемых систем энергетики без достаточной степени наглядности. Наиболее сложно в такой ситуации — определить слабые или «узкие» места, сдерживающие возможности удовлетворения потребности отдельных районов или существенно снижающие эффективность функционирования ТЭК (увеличение затрат из-за необходимости использования более дорогих способов производства и транспорта ТЭР).

Проблема усугубляется необходимостью анализа наборов данных для нескольких моментов времени — опорных годов для выбранной перспективы сценария развития.

Основные принципы отображения схем систем энергетики и поиска «узких» мест были выработаны ранее в процессе создания и применения проблемно-ориентированных ГИС для исследований проблем живучести отдельных систем энергетики, в частности, систем газоснабжения, нефте- и нефтепродуктоснабжения [22, 23].

При исследовании совокупной работы отдельных энергетических систем в рамках единого ТЭК геоинформационные системы применяются для:

- отображения систем энергетики, входящих в состав ТЭК, в виде сетей распределения соответствующих энергоресурсов, причем узел сети соответствует потребителю или источнику ТЭР, а дуги — транспортным связям между ними;

- получения на схеме сети наглядного отображения исходной информации и графической интерпретации информации о работе любого из объектов ТЭК;

- оказания помощи в определении «узких» мест в подсистемах транспорта ТЭР.

Модуль m_4 построен на основе ГИС с открытым исходным кодом System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA), которая была выбрана в результате анализа работ [24—26]. Эта система SAGA разработана кафедрой физической географии Геттингемского университета (Германия) как платформа для реализации методов географических исследований и написана на языке программирования C++ с использованием библиотеки wxWidgets [27].

Архитектура SAGA является модульной и основана на прикладном интерфейсе программирования API [28], обеспечивающим объектные модели

данных, основные определения для программирования методов исследований, большое количество вспомогательных классов и функций.

Авторами выполнены работы по встраиванию интерпретатора Lua внутрь SAGA и обеспечению доступа скриптов, написанных на языке Lua, к библиотеке wxWidgets, которые в результате получили возможность полного контроля над этой ГИС.

Схема системы энергетики в SAGA представлена в виде карты, состоящей из трех векторных слоев. Первый слой, представленный точечными объектами в виде небольших кругов, характеризует состояние производителей ТЭР. Второй слой, представленный линиями, позволяет судить о степени загруженности транспортной подсистемы. Третий слой, состоящий из площадных объектов, показывает, полностью ли удовлетворены нужды потребителей ТЭР.

Характеристика текущего режима работы объектов системы энергетики определяется в результате расчета на модели ТЭК (1)—(6) и отображается цветом компонентов векторных слоев. Например, для производителей и транспорта ТЭР черный цвет означает, что объект работает в нормальном режиме с определенным запасом по производственным мощностям, красный — объект полностью загружен (никакого запаса по производственным мощностям нет), синий — объект не был задействован (по разным причинам, определяемым в ходе специального анализа).

В подсистемах транспорта ТЭР возможные «узкие места» определяются с помощью аппарата двойственных оценок. Известно, что двойственные оценки могут служить мерой дефицитности какого-либо ресурса [29]. В данном случае таким ресурсом служит пропускная способность дуг, и соответственно анализируются двойственные переменные, соответствующие ограничению (2) для транспорта. Для «узкого места» значение двойственной переменной будет меньше нуля и по модулю будет близко к значению соответствующей компоненты r . «Узкие места» в транспорте на схеме системы энергетики отображаются в виде линий двойной толщины. Именно с ними в процессе анализа необходимо особенно тщательно работать эксперту.

Карты формируются только для одного момента времени. Переключение между наборами данных, соответствующих различным моментам времени, производится при помощи меню, встроенного в SAGA.

Помимо исследования путей развития ТЭК России с учетом требований ЭБ, ППП «Корректива» был применен авторами для исследования нескольких сценариев устойчивого развития энерге-

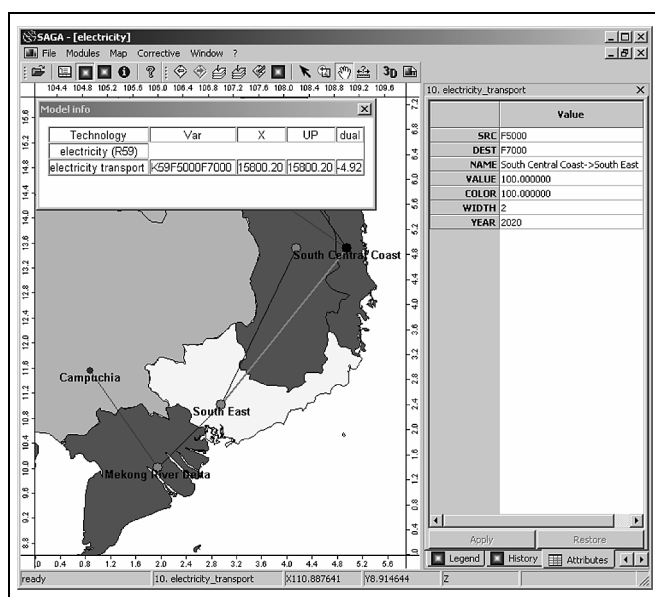


Рис. 4. Окно модуля m_4 ППП «Корректива»

тики Вьетнама при ограничениях выбросов парниковых газов объектами ТЭК [30]. Это послужило дополнительной проверкой работоспособности и подтверждением адекватности применяемых методов и инструментальных средств.

На рис. 4 показан пример анализа, проводимого с помощью модуля m_4 ППП «Корректива». В данном случае анализируется информация о производстве, транспорте и потреблении электроэнергии одного из сценариев развития энергетики Вьетнама в 2020 г.

В левой части главного окна модуля m_4 (см. рис. 4) располагается карта, отображающая режим работы объектов электроэнергетической системы Вьетнама, а справа показана такая информация о транспорте электроэнергии из региона South Central Coast в регион South East, как коды начала и конца дуги (параметры SRC и DEST соответственно), толщина линии (параметр WIDTH). Данная дуга окрашена в красный цвет, а полигон, соответствующий региону South East, окрашен в желтый цвет. Это означает, что имеется дефицит электроэнергии в регионе South East, а дуга из South Central Coast в South East полностью загружена.

Количественные характеристики дуги из South Central Coast в South East можно увидеть в окне «Model info» (см. рис. 4), где приводится информация о переменных модели (1)–(6), описывающих функционирование выделенного объекта ТЭК. В столбцах Var, X, UP находятся соответственно код переменной, ее значение, значение ее верхней

границы. Значение двойственной переменной, которая соответствует ограничению (2) для дуги, отображается в столбце dual. Ее значение для дуги из South Central Coast в South East меньше нуля, поэтому эта дуга является «узким местом» и имеет двойную толщину линии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследованиях долгосрочного развития энергетики страны и ее регионов с учетом требований энергетической безопасности актуальна проблема наглядного представления многомерных данных о состоянии ТЭК в различные исследуемые моменты времени. Существующий в настоящее время соответствующий инструментарий в России (SCANNER) и за рубежом (TIMES) обычно предлагает проводить анализ данных о состоянии ТЭК в табличной форме. Использование электронных карт для отображения пространственно-распределенных данных ТЭК дает возможность исследователю анализировать состояние ТЭК и систем энергетики на более высоком качественном уровне. Электронные карты помогают исследователю получить целостную оценку состояния ТЭК и систем энергетики, составить список объектов ТЭК, требующих первоочередного внимания, быстро определить «узкие» места, ограничивающие поток ресурсов к потребителям. Поэтому в разработанное авторами программное обеспечение «Корректива», предназначенное для исследований развития ТЭК с учетом требований энергетической безопасности, была интегрирована геоинформационная система SAGA.

В отличие от ранее созданных авторами геоинформационных систем для исследований проблем живучести отдельных систем энергетики в данном случае решалась проблема визуализации параметров работы более сложного по структуре объекта (ТЭК). В частности, появилась возможность отображать на карте состояние не одной, а двух и более систем энергетики, работающих совместно в составе ТЭК.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения* / Н.И. Пяткова, В.И. Рабчук, С.М. Сендеров и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. — 198 с.
2. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии. — М.: Финансы и статистика, 1997. — 290 с.
3. *Scholz Y.* Renewable Energy Based Electricity Supply At Low Costs — Development of the Remix Model and Application for Europe: PhD Dissertation. — German Aerospace Center, Institute of Technical Thermodynamics, 2012. — P. 181. — URL: http://elib.dlr.de/77976/1/REMix_Thesis_YS.pdf (дата обращения: 26.02.15).

4. Сендеров С.М. Модельно-индикативный подход к оценке уровня энергетической безопасности страны при различных вариантах развития энергетики // Изв. РАН. Энергетика. — 2005. — № 4. — С. 3—9.
5. *Quelhas Alves de Freitas A.M.* Economic efficiencies of the energy flows from the primary resource suppliers to the electric load centers: Ph. D. Thesis. — Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 2006. — P. 151. URL: <http://lib.dr.iastate.edu/rttd/1555> (дата обращения: 26.02.15).
6. *Biberacher M.* Fusion in the Global Energy System — GIS and TIMES, Ciemat, Madrid, 2007 URL: www.iea-etsap.org/web/Docs/Fusglob.pdf (дата обращения: 26.02.15).
7. *Quelhas A., McCalley J.D.* A multiperiod generalized network flow model of the US integrated energy system: Part II — Simulation results // IEEE Trans. on Power Syst. — 2007. — Vol. 22. — P. 837—844.
8. *Voropai N.I.*, et. al. Comprehensive substantiation of the adaptive development of energy systems in terms of changing external conditions // Intern. Journal of Global Energy Issues. — 2003. — Vol. 20, N 4. — P. 416—424.
9. Сендеров С.М., Рабчук В.И., Пяткова Н.И. Анализ выполнения требований энергетической безопасности при реализации различных направлений развития ТЭК страны до 2020 г. // Изв. РАН. Энергетика. — 2009. — № 5. — С. 17—23.
10. *Quelhas A, Gil E., McCalley J.D., Ryan S.M.* A multiperiod generalized network flow model of the US integrated energy system: Part I — Model description // IEEE Trans. on Power Syst. — 2007. — Vol. 22. — P. 829—836.
11. *Веселов Ф.В., Макаров А.А., Малахов В.А.* Методы и инструментарий прогнозирования развития электроэнергетики // Изв. РАН. Энергетика. — 2010. — № 4. — С. 82—94.
12. *SCANNER.* Суперкомплекс активной навигации в энергетических исследованиях / А.А. Макаров, Ф.В. Веселов, О.А. Елисеева и др. — М.: ИНЭИ РАН, 2011. — 144 с.
13. *Fishbone L G. and Abilock H.* MARKAL, a linear-programming model for energy systems analysis: technical description of the BNL version // Intern. Journal of Energy Research. — 1981. — Vol. 5. — P. 353—375.
14. *Gerking H.* Modeling of multi-stage decision making process in multi-period energy models // European Journal of Operational Research. — 1987. — Vol. 32, N 2. — P. 191—204.
15. *Van der Voort E.*, et. al. Energy Supply Modelling Package, EFOM-12C Mark I, Mathematical Description. — Louvain-La-Neuve, 1984. — 429 p.
16. *Loulou R., Labriet M.* ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model Part I: Model structure // Computational Management Science — 2008. — Vol. 5, N 1. — P. 7—40.
17. Программный комплекс “Корректива” для исследований долгосрочного развития топливно-энергетического комплекса Вьетнама / А.В. Еделев, Н.И. Пяткова, А.В. Чемезов, Нгуен Хоай и др. // Программные продукты и системы. — 2014. — № 4. — С. 211—216.
18. *Borrie H.* The Firebird Book Second Edition. — IBP Publications, 2013. — 1038 p.
19. *Roberto Ierusalimsky, Luiz Henrique de Figueiredo, Waldemar Celes Filho.* Lua — an extensible extension language // Software—Practice & Experience — 1996. — Vol. 26, N 6. — P. 635—652.
20. *Mixed Integer Linear Programming (MILP) solver lp_solve.* — URL: <http://sourceforge.net/projects/lpsolve> (дата обращения: 27.06.2014).
21. *Еделев А.В.* Применение системы X-COM для исследования развития топливно-энергетического комплекса с учетом требований энергетической безопасности. Научный сервис в сети Интернет: решение больших задач // Тр. Всерос. науч. конф. (22—27 сентября 2008 г., г. Новоросийск). — М., 2008. — С. 94—98.
22. *Еделев А.В., Еникеева С.М., Сендеров С.М.* Информационное обеспечение при исследовании вопросов функционирования больших трубопроводных систем // Вычислительные технологии. — 1999. — Т. 4, № 5. — С. 30—35.
23. *Воробьев С.В., Еделев А.В.* Методика определения узких мест в работе больших трубопроводных систем // Программные продукты и системы. — 2014. — № 3. — С. 174—177.
24. *Steiniger S., Bocher E.* An overview on current free and open source desktop GIS developments // Intern. Journal of Geographical Information Science. — 2009. — Vol. 23, N 10. — P. 1345—1370.
25. *Steiniger S., Hay G.J.* Free and open source geographic information tools for landscape ecology // Ecological Informatics. — Sept. 2009. — Vol. 4, iss. 4. — P. 183—195.
26. *Chen D., Shams S., Carmona-Moreno C., Leone A.* Assessment of open source GIS software for water resources management in developing countries // Journal of Hydro-environment Research. — Oct. 2010. — Vol. 4, iss. 3. — P. 253—264.
27. *wxWidgets: Cross-Platform GUI Library.* — URL: <http://www.wxwidgets.org> (дата обращения: 27.06.2014).
28. *Conrad O.* SAGA — program structure and current state of implementation // SAGA — Analysis and Modelling Applications. Göttinger Geographische Abhandlungen. — 2006. — Vol. 115. — P. 39—52.
29. *Сакович В.А.* Оптимальные решения экономических задач. — Минск: Выш. школа, 1982. — 272 с.
30. *Alexei V. Edelev*, et. al. Sustainable energy development and green growth strategy for Vietnam: a suitable pathway of power sector ensuring the national energy security // Proc. of the third Intern. Scientific Conf. “Sustainable Energy Development”. — Hanoi, Oct. 2013. — P. 21—28.

Статья представлена к публикации руководителем PPC А.А. Ворониным.

Еделев Алексей Владимирович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ✉ flower@isem.sei.irk.ru,

Сендеров Сергей Михайлович — д-р техн. наук, зам. директора, ✉ ssm@isem.sei.irk.ru,

Пяткова Наталья Ивановна — канд. техн. наук, зав. лабораторией, ✉ nata@isem.sei.irk.ru,

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск.

Содержание сборника «Управление большими системами», 2014, вып. 53

- ✓ **Беляева А.В.** Учет пространственных факторов в массовой оценке объектов недвижимости: сравнение эффективности различных методов. — С. 6.
- ✓ **Иванов Н.Н.** Аналитико-имитационное моделирование обобщенных стохастических сетевых графиков. — С. 27.
 - ✓ **Соловьев А.И.** Декомпозиция задачи оптимального потребления на дискретном рынке. — С. 45.
 - ✓ **Мишуков П.Н.** Повышение точности динамической оптимизации вагонопотоков на основе использования расчётных периодов переменной длительности. — С. 58.
 - ✓ **Белов Р.В., Казанин Д.К., Огородников К.О.** Методы коррекции инерциальных оценок координат при управлении группой подвижных объектов. — С. 76.

Тексты статей доступны на сайте <http://ubs.mtas.ru/>

