

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА
МНОЖЕСТВА ВАРИАНТОВ РАСЧЕТОВ МОДЕЛИ ОРПЭС И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
РЕЗУЛЬТАТОВ В WEB-ПРИЛОЖЕНИИ**

Трофимов Иван Леонидович

Старший инженер, e-mail: t_john88@mail.ru

Трофимов Леонид Николаевич

Ведущий программист, e-mail: trofi.isem@yandex.ru

Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

Аннотация. Анализ данных при многовариантных расчетах развития межгосударственных электроэнергетических объединений требует наличия специализированных инструментальных средств с удобным графическим интерфейсом, позволяющим сравнивать различные результаты решения оптимизационной модели. В данной статье показаны возможности визуализации и анализа решений модели “ОРИЭС” при формировании множества различных вариантов начальных условий – входных параметров модели; и технологии веб-приложения “ESAS” для представления результатов проведенных исследований широкому кругу Интернет пользователей.

Ключевые слова: обработка данных, визуализация данных, веб-приложение, геоинформационная система, оптимизационная модель.

Цитирование: Трофимов И.Л., Трофимов Л.Н. Инструментальные средства для формирования и анализа множества вариантов расчетов модели ОРПЭС и представление результатов в веб-приложении // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 1 (17). С. 130 –141. DOI: 10.38028/ESI.2020.17.1.010

Введение. В лаборатории межгосударственных электроэнергетических объединений (МГЭО) в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН проводятся комплексные исследования развития МГЭО в различных регионах мира. В лаборатории была разработана математическая модель “ОРИЭС” (далее модель), позволяющая проводить научные исследования, направленные на поиск оптимальных стратегий развития и режимов работы электроэнергетических систем (ЭЭС) [8]. Современная программная реализация модели требует разработки универсальной инструментальной платформы с возможностью гибкой настройки входных параметров узлов модели и графического интерфейса для анализа большого количества разных решений, получаемых в зависимости от вариаций начальных параметров прогнозируемого развития ЭЭС и МГЭО. В задачи прогнозирования развития МГЭО в различных регионах мира вовлечены многие международные и межправительственные организации и отдельные группы ученых. Поэтому необходимо чтобы полученные научные результаты были максимально доступны широкому кругу исследователей, работающих в данной предметной области.

Авторами разрабатывается геоинформационная вычислительная система (ГИВС) для поддержки научных исследований по кооперации ЭЭС России и стран Евразии. Ближайшие

по функционалу аналоги данной системы, известные авторам, это энергетический портал Asia Pacific Energy Portal, разработанный при участии ЭСКАТО ООН [7] и ГИС-система, разработанная при участии GEIDCO – Китай [18]. Указанные системы содержат большое количество энергетических данных по электростанциям и линиям электропередач по всему миру, но не имеют вычислительной части и являются по сути лишь геоинформационными системами. Разработанная авторами ГИВС предназначена для проведения экспертами расчетов на оптимизационной модели ОРИЭС и создания обоснованных прогнозов развития МГЭО, поэтому помимо визуализации данных она имеет сложную вычислительную часть, во многом уникальную для подобного рода вычислений.

ГИВС содержит оригинальную объектно-ориентированную энергетическую базу данных, интерфейс для настройки входных параметров модели, графический и картографический интерфейс для анализа данных, интерактивные таблицы для представления результатов решения модели, а также линейный оптимизатор G.A.M.S (General algebraic modeling system) для нахождения оптимальных решений модели [9, 14, 15]. Среда разработки ГИВС – Embarcadero Delphi XE. Для предоставления результатов проведенных исследований широкому кругу пользователей авторами разработано внешнее веб-приложение ESAS (Energy statistical analytical service), использующее обработанные данные из ГИВС [12].

В данной статье приводятся примеры использования графического интерфейса ГИВС для формирования и анализа множества вариантов расчетов на модели ОРИЭС. Авторами разработана технология автоматизированного формирования различных вариаций *lp-задачи* (задачи линейного программирования для оптимизатора G.A.M.S), которые отличаются друг от друга плавным изменением одного или группы входных/начальных параметров модели. Представлен графический анализ и сравнение вариантов.

1. Описание модели и её программная реализация в ГИВС. Модель ОРИЭС используется при проведении расчетов различных перспективных вариантов формирования межгосударственных электроэнергетических объединений и входящих в них ЭЭС [1, 2, 4]. Модель является многоузловой, что позволяет учитывать территориальную распределённость ЭЭС и МГЭО. Узлами модели являются крупные и объединенные электроэнергетические системы различных стран и регионов мира. Узлы связаны между собой линиями электропередачи в различных конфигурациях. Каждый узел или связь содержат набор начальных задаваемых условий и параметры, получаемые в результате решения *lp-задачи* оптимизации. Исследования с помощью модели проводятся на перспективу для заданного расчетного года (например, 2035 г.). Значением *целевой функции* модели являются предполагаемые финансовые издержки по МГЭО в целом. Целевая функция включает в себя топливные затраты на производство электроэнергии различными типами электростанций, затраты на ввод новых мощностей, и затраты на ввод новых электрических линий – связей между узлами. Оптимальное решение модели определяется минимумом приведенных затрат по энергообъединению в целом. Целевая функция оптимизируется в рамках определенных *ограничений*, в т.ч. балансовых. Например, рабочая мощность электростанций с учетом экспорта и импорта должна быть равна заданной нагрузке в каждом узле во все часы расчетного года, а суммарная установленная мощность электростанций должна быть не меньше максимальной нагрузки [5].

Все указанные параметры модели настраиваются через специальный интерфейс ГИВС. Для настройки отдельных блоков в интерфейсе предусмотрены специальные разделы –

интерактивная таблица для настройки ограничений модели и типов мощностей в каждом узле, таблица параметров связей между узлами, форма ввода параметров для графиков нагрузки по различным сезонам года и времени суток и другие дополнительные формы, рис. 1.

ww_r 0.000000 false

ОЭС: Япония
Japan

Панель интерфейса
Редактор объекта

буфер <-> Вариант vof_1_vs Scenario 3, 2035.
Сравнить с вариантом

Статус: main

Широта: 36.53869211
Долгота: 139.13359772

Перечень типов для графика: АЭС;ТЭЦ уг.;ТЭЦ газ;ТЭЦ нефть;ТЭС нефть;ГЭС;ГАЭС;ВЭСЯпония;СЭСЯпо
Перечень типов станций ГЭС=t1,ГАЭС=t2,ТЭЦ уг=t3,ТЭЦ газ=t4,ТЭЦ нефть=t5,ТЭС уг=t6,ТЭС газ=t7,ТЭС нефть=t8,А
Перечень особых типов станций ВЭСЯпония=u1,СЭСЯпония=u2

Временно
oes_all.db Записать >>

ww_r График Макс. нагрузка 188000.0

0.8981022|0.8830086|0.8438908|0.8383053|0.8437512|0.8406538|0.8616439|0.9022215|0.9191368|0.8980958|0.8650079|0.8311774|0.
0317|0.7760711|0.7308537|0.7070962|0.7038401|0.6969597|0.6891082|0.6959188|0.7470136|0.8060806|0.8547318|0.9016947

цч	чч	фч	фч	су	ш	ну	нч
3 672 466	2 664 230	3 256 365	2 313 513	3 684 869	2 949 759	3 329 860	2 458 332
59	22	56	24	57	22	60	22
216 675 494 58 613 060 182 356 440 55 524 312 210 037 533 64 894 698 199 791 600 54 083 304 (MWh-hour)							

hh: 764,1342,1299,798 calc 1 041 976.441 ГВт-часов

кол.раб.дней за сезоны: 59,56,57,60
кол.празд.дней за сезоны: 22,24,22,22

sw 4 185914.2 1
sw 5 188000.00

ch_s_w 200000 ch_s_h 200000 h2 2 etagaes 0.8 resw 20

Рис. 1. Форма ввода параметров для графика суточной нагрузки в интерфейсе ГИВС

Основные возможности разработанного авторами интерфейса ГИВС для работы с моделью:

- возможность внесения изменений в уравнения модели на языке «решателя» (специальное окно для работы с программным языком линейного оптимизатора G.A.M.S),
- возможность включения/выключения ограничений в системе уравнений модели,
- гибкая настройка/редактирование и ввод входных энергетических параметров для модели,
- создание, включение/выключение новых узлов модели (масштабирование расчетной схемы),
- возможность создания наследуемых сценариев (дерева вариантов), их хранение в БД и сравнение друг с другом,

- система контроля и анализа вводимых параметров модели (допустимых в рамках заданных ограничений).

Ниже описан алгоритм работы интерфейса ГИВС с «решателем» G.A.M.S:

1. Оператор (пользователь ГИВС) настраивает параметры для запуска модели (создает исходный вариант/сценарий развития). Все параметры для советующего варианта/сценария хранятся в базе данных ГИВС.

2. По кнопке из интерфейса ГИВС запускается внешний системный процесс G.A.M.S, который считывает заданные параметры модели.

3. Значения указанных параметров последовательно заносятся в систему уравнений и ограничений модели, записанную на программном языке «решателя». (Интерфейс ГИВС позволяет напрямую редактировать систему уравнений и ограничений модели, используя программный язык «решателя»).

4. В случае если система уравнений имеет решение, удовлетворяющее всем ограничениям модели – на выходе из процесса формируется оптимальное решение, в виде набора таблиц с соответствующими оптимальными значениями всех параметров модели.

5. В случае если система уравнений не имеет решения (параметры не удовлетворяют каким-либо ограничениям модели), интерфейс ГИВС выдает ошибку «несовместность решения», и оператору (пользователю ГИВС) предлагается изменить начальную конфигурацию.

После этого работа модели считается завершенной.

Результаты расчетов (заданного варианта/сценария) на выходе из G.A.M.S характеризуются чрезвычайно большим объемом первичных данных (несколько тысяч строк). Авторами разработаны программные алгоритмы обработки данных и соответствующие интерфейсы ГИВС для анализа результатов. Полученные в результате решения модели сценарии/варианты сохраняются в советующем разделе базы данных ГИВС.

2. Сравнение вариантов расчетов. Для работы с различными вариантами расчетов, полученных с использованием модели ОРИРЭС, авторами разработан специальный графический интерфейс ГИВС. Графический интерфейс ГИВС позволяет формировать интерактивные графики на специальном поле, настраивать параметры поля (изменять цвет графиков, масштаб, шкалу и координаты, подписи и прочее), сохранять полученные графики в базе данных ГИВС для их сравнения и визуального анализа различных вариантов решения модели.

В 2019 году авторами разработана дополнительная возможность автоматизированного формирования множества вариаций решения Ip-задачи, которые отличаются друг от друга плавным изменением одного или группы входных/начальных параметров модели.

Пример построения множества вариантов решения модели и их отображение на координатном поле в графическом интерфейсе ГИВС показан на рис. 2.

Каждое отображение вариантов решения модели состоит из двух частей. В левой части показаны верхние и нижние ограничения модели (максимум и минимум установленной мощности для каждого типа электростанций в МВт), между ними шкала с оптимальными мощностями, полученными в результате решения модели. В правой части каждого из четырех вариантов показаны почасовые графики суточной нагрузки для узла. В целом график суточной нагрузки отражает необходимый уровень мощности (электропотребления в узле) на каждый час суток каждым типом электростанций, для обеспечения бесперебойной работы узла.

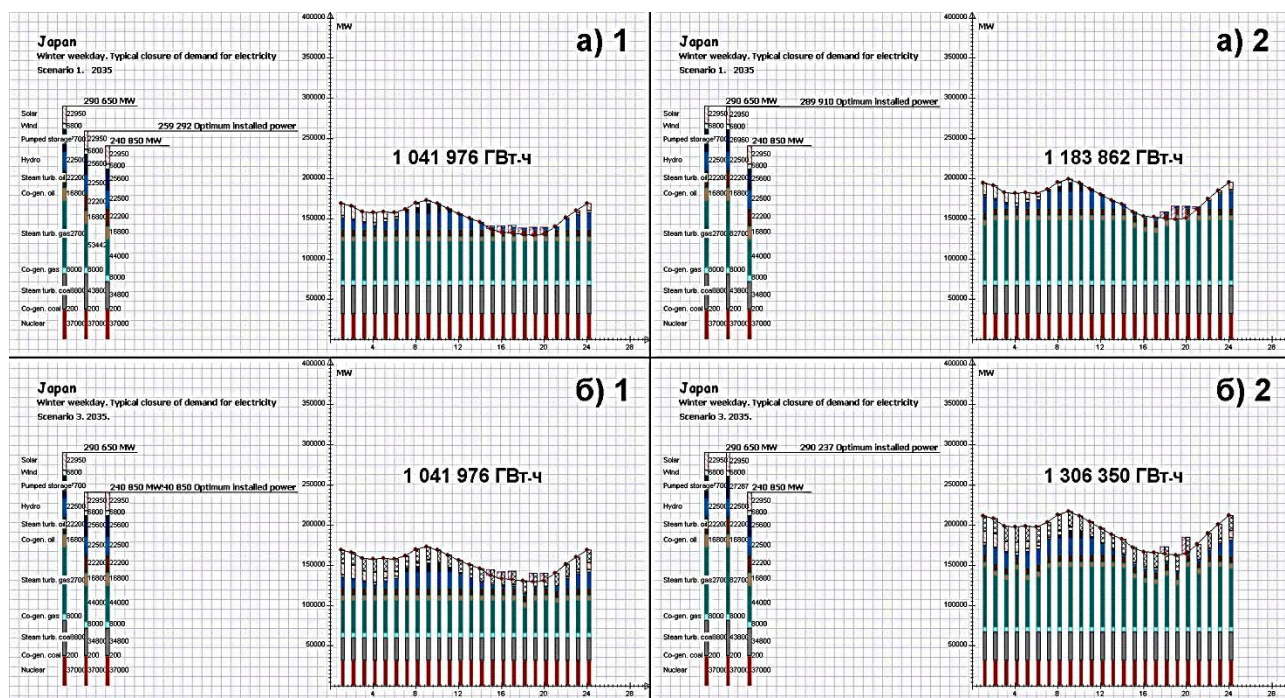


Рис. 2. Сравнение графиков почасовой нагрузки, вариант “а) 1-2” – повышение роста энергопотребления для изолированной работы узла, вариант “б) 1-2” – повышение роста энергопотребления для связанной работы (узлы связаны линиями электропередачи)

Графический интерфейс ГИВС позволяет визуально сравнивать множество различных вариантов. Так на вышеуказанном рисунке 2 в варианте “а) 1-2” показана тенденция повышения роста энергопотребления для *изолированной работы* узла “Япония”, т.е. узел не связан линиями электропередачи с другими узлами. В этом случае видно, что при росте нагрузки в узле, оптимальное решение модели для всех типов мощностей «ложится» на верхнюю границу максимально возможной установленной мощности (планируемой в этом узле к 2035 году).

Вариант развития “б) 1-2” на том же рисунке 2 позволяет увидеть аналогичную тенденцию роста энергопотребления в узле “Япония”, но в случае *связанной работы* узлов расчетной схемы. При достижении максимально возможной установленной мощности (планируемой в этом узле к 2035 году) рост энергопотребления, тем не менее, *может продолжаться расти* за счет импорта дополнительной электроэнергии из соседних узлов, соединенных с ним линиями электропередачи.

При этом важно понимать, что каждый из вариантов рассчитывается на модели с учетом минимизации инвестиционных и эксплуатационных затрат на ввод новых мощностей в узле, на ввод новых линий электропередачи в случае связанной работы и с учетом стоимости генерации электроэнергии каждым типом электростанций. Для разных узлов (стран или ЭЭС) эти стоимости могут отличаться. Все данные по каждому узлу хранятся в объектно-ориентированной базе данных и редактируются через специальный интерфейс ГИВС.

Без наличия разрабатываемых инструментальных средств, расчет только одного варианта (учитывая процесс сбора информации, занесение параметров каждого узла в модель, проверка на связность решения – удовлетворение всех параметров ограничениям модели и прочее) мог занимать от одного до нескольких месяцев. Благодаря разрабатываемой авторами

ГИВС настройка всех параметров и расчет одного варианта занимает в среднем около получаса, при наличии исходной информации в базе данных. Все варианты после расчетов также сохраняются в базе данных, что дает возможность сравнивать их между собой.

Картографический интерфейс ГИВС дополнительно позволяет сравнивать различные вариации решения модели, с нанесением расчетной схемы (узлов модели и их связей) на географическую карту мира.



Рис. 3. Расчетная схема для Северо-восточной и центральной Азии на 2035 год.
Изолированная “а”) и связанная работа узлов “б)”

Картографический интерфейс ГИВС основан на совмещении географической информации (растровое фоновое изображение) любых регионов Мира в разном масштабе с энергетическими данными, получаемыми из базы данных ГИВС. Дополнительно к этому в базе данных ГИВС хранятся векторные карты в формате SHP, содержащие подробную информацию о географических границах и названиях административных делений, стран, рек, городов и пр.

На рис. 3 изображены два варианта расчетной схемы для Северо-восточной и центральной Азии на 2035 год, изолированная работа (учитывающая локальные связи только внутри стран) и связанная работа всех узлов расчетной схемы между собой (учитываются связи между странами). Построенные в автоматизированном режиме карты помимо географической информации содержат данные, получаемые в результате решения модели. Размер каждой диаграммы-узла расчетной схемы на картах пропорционален его установленной мощности (ГВт) и объему генерации электроэнергии всеми типами электростанций за год (ГВт·ч). Соответствующие этим параметрам числа расположены рядом с каждым узлом расчетной схемы. Также на рисунке 3 отображены рассчитанные на модели мощности линий электропередачи (МВт) и объемы экспорта/импорта между узлами.

Картографический интерфейс ГИВС позволяет отображать на картах и другие энергетические данные, например типы генерируемых мощностей электростанциями с указанием их географических координат, объемы производства и потребления, добычи природных ресурсов и любые другие параметры. Набор таких карт, построенных для различных сценариев развития МГЭО, позволяет визуально оценивать тенденции изменения любых параметров в ту или иную сторону и легко сравнивать полученные варианты между собой.

3. Технологии для представления полученных результатов в веб-приложении ESAS. Задачами прогнозирования развития межгосударственных энергообъединений занимаются многие международные организации, такие как Asia Pacific Energy Research Centre

(APEREC), United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (комиссия ООН по социально-экономическому развитию Азиатского Тихоокеанского региона), Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization (GEIDCO, Китай), Mongolia Energy Policy Regulatory Department (Монголия) [3, 6, 10] и другие.

Во многих странах существуют научно исследовательские институты, занимающиеся вопросами развития МГЭО: Renewable Energy Institute (Япония), China Electric Power Planning & Engineering Institute (Китай), Global Energy Interconnection Research Institute (Китай), University of Malaya (Малайзия), Korea Electrotechnology Research Institute (Южная Корея) [13, 16, 17, 19]. В России в данной области исследований авторам известны работы только двух институтов – Института систем энергетики им. Мелентьева СО РАН и Сколтеха (Сколковский институт науки и технологий) [11].

Учитывая большое количество организаций и отдельных групп ученых, вовлеченных в процесс прогнозирования развития МГЭО, перед авторами была поставлена задача обеспечения доступа широкого круга исследователей (в том числе международных организаций) к полученным результатам. Это связано с тем, что развитие МГЭО затрагивают одновременно интересы многих стран и участников. Для этого авторами было разработано внешнее Web-приложение “ESAS” (Energy statistical analytical service), использующее данные из ГИВС.

Основное направление разрабатываемого Интернет-сервиса – комплексная информационно-аналитическая поддержка научных исследований в области мировой электроэнергетики, а в частности – в области развития межгосударственных энергообъединений. Наряду с данными рассчитанными на модели ОРИРЭС, в веб-приложении используются обработанные в ГИВС статистические данные различных международных организаций, таких как Международное энергетическое агентство (IEA), Международная ассоциация инженеров-электриков и электронщиков (IEEE), Британская нефтегазовая компания «Бритиш петролеум» (BP), статистические агентства Евросоюза (Евростат), России (Росстат), США (StatsAmerica) и другие.

Для представления материалов в Web-интерфейсе используются совмещенные фрагменты географических карт, построенные в ГИВС с основными составляющими электроэнергетической инфраструктуры различных стран и регионов. Информация может быть представлена в ретроспективе с 80-х годов по настоящее время, а также с учетом ожидаемой среднесрочной и долгосрочной перспективы, рассчитываемой на модели ОРИРЭС.

Для разработки Web-приложения использовались стандартные технологии Web-программирования: AJAX + PHP / Java Script, MySQL, API-функции Google maps, OpenStreets и Яндекс.Карт. Энергетические данные полученные из базы данных ГИВС импортируются в общепризнанных форматах: JPG, XML, JSON, а также в форматах Microsoft Word и Excel.

На рис. 4 изображена концептуальная схема работы системы с информацией – от источников данных до их конечного представления в Интернет-сервисе ESAS.

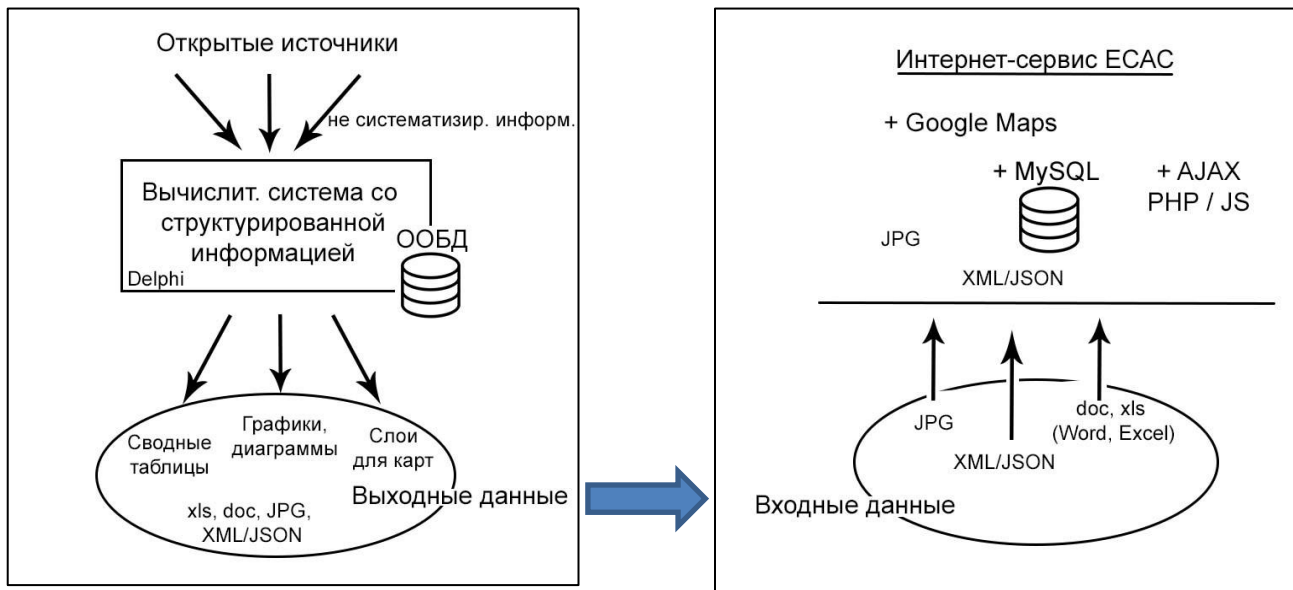


Рис. 4. Концептуальная схема работы системы

Приведенные во второй главе в статье графики и карты могут быть представлены в Интернет-сервисе сгруппированными по типам проведенного исследования (анализа), для выбранной страны или региона.

Особенностями разрабатываемого проекта Интернет-сервиса являются:

1. Построение интерактивных электронных географических карт, совмещенных с объектами энергетики в различных регионах мира.
2. Системное структурирование статистической и другой информации в единой базе данных.
3. Графическая визуализация ретроспективы и перспективы различных показателей мировой энергетики в целом.

Разработанное авторами Web-приложение, использующее данные ГИВС, позволяет Интернет пользователям в интерактивном режиме изменять параметры различных вариантов/сценариев развития МГЭО, рассчитанных на модели ОРИРЭС для их визуального качественного анализа и сравнения, а также открывает широкие возможности для более предметного обсуждения проводимых работ в данной области исследований.

Заключение. Благодаря разрабатываемому авторами набору инструментальных и программных средств для работы с моделью ОРИРЭС значительно сокращается время настройки всех параметров модели, формирования и анализа множества вариантов расчетов. Все варианты расчетов сохраняются в объектно-ориентированной базе данных, что дает возможность сравнивать их между собой. Показаны возможности графического интерфейса ГИВС для визуализации и анализа графиков при формировании множества различных вариантов входных параметров модели. Для представления результатов проведенных исследований широкому кругу Интернет пользователей авторами предлагается использование веб-приложения “ESAS”, использующее данные из ГИВС. Данный Интернет-сервис предоставляет возможность в интерактивном режиме изменять параметры различных вариантов/сценариев развития МГЭО для их визуального анализа, а также открывает широкие возможности для обсуждения проводимых работ в данной области исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Л.С., Подковальников С.В., Савельев В.А., Чудинова Л.Ю. Эффективность межгосударственных электрических связей. Новосибирск: Наука. 2008. 239 с.
2. Беляев Л.С., Подковальников С.В., Савельев В.А. Научный отчет. Программа развития гидроэнергетики России до 2030 года на перспективу до 2050 года. Иркутск. 2015. 402 с.
3. Организация по развитию и кооперации глобального энергетического объединения (GEIDCO). Режим доступа: <https://geidco.org/category/24?lang=en> (дата обращения 07.08.2019)
4. Подковальников С.В., Савельев В.А., Хамисов О.В., Чудинова Л.Ю. Обоснование эффективности межгосударственных энергообъединений с разделением эффектов между участниками // Автоматика и телемеханика. 2018. №10. С. 26–38.
5. Подковальников С.В., Трофимов И.Л., Трофимов Л.Н. Технологические аспекты геоинформационной вычислительной системы для поддержки исследований в области формирования межгосударственных энергообъединений // Программная инженерия. 2018. №8. С. 349–360.
6. Экономическая и социальная комиссия ООН для Азии и Тихого океана (ЭСКАТО ООН), Режим доступа: <https://unescap.org/research> (дата обращения 25.03.2019)
7. Энергетический портал ЭСКАТО ООН (Asia Pacific Energy Portal). Режим доступа: <https://asiapacificenergy.org/> (дата обращения 23.04.2019).
8. Belyaev L.S., Chudinova L.Yu., Khamisov O.V., Kovalev G.F., Lebedeva L.M., Podkovalnikov S.V. and Savel'ev V.A. Studies of interstate electric ties in Northeast Asia // International Journal of Global Energy Issues. 2002. vol. 17(3). Pp. 228–249.
9. Bussieck M.R., Meeraus A. General Algebraic Modeling System (GAMS). Chapter 8. In: Kallrath J. (eds) Modeling Languages in Mathematical Optimization. Applied Optimization, Том 88, Springer, Boston, MA, 2004 г.
10. Chimeddorj D. Power Sector of Mongolia, Regional cooperation policy // Northeast Asia Regional Power Interconnection Forum. (Beijing, China, 26-27 October 2016). Beijing. 2016. Pp. 3–26.
11. Churkin A., Bialek J. Analysis of the prospective energy interconnections in Northeast Asia and development of the data portal // 10th International Conference on Asian Energy Cooperation (AEC 2017), E3S Web Conf.: 2018. № 27. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/02/e3sconf_aec2018_01003.pdf (accessed 26.07.2019).
12. Energy Statistical Analytical Service. Available at: <http://www.esas.com.ru/> (accessed 26.07.2019).
13. Omatsu R. Interim Report by Asia International Grid Connection Study Group // 10th International Conference on Asian Energy Cooperation (AEC 2017), E3S Web Conf.: 2018. № 27. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/02/e3sconf_aec2018_01004.pdf (accessed 26.07.2019)

14. Podkovalnikov S.V., Trofimov I.L., Trofimov L.N. Technological aspects of a geographic information computing system to support research in the field of the formation of interstate energy associations // Journal of Software Engineering. 2018. Issue 1. Pp. 349–360.
 15. Podkovalnikov S.V., Trofimov I.L. and Trofimov L.N. Data processing and optimization system to study prospective interstate power interconnections // 10th International Conference on Asian Energy Cooperation (AEC 2017), E3S Web Conf.: 2018. № 27. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/02/e3sconf_aec2018_01007.pdf (accessed 26.07.2019)
 16. Seung M. Role of Korea for Developing the East Asia Super Grid // 20th International Conference on Electrical Engineering. Jeju. 2014.
 17. Tofael A., Mekhilef S., Shah R. Mithulananthan N., Seyedmahmoudian M. and Horan B., ASEAN power grid: A secure transmission infrastructure for clean and sustainable energy for South-East Asia, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. 2017. vol. 67. Pp. 1420–1435.
 18. Xuming L. Application and research of global grid database design based on geographic information // Global Energy Interconnection. 2018. vol. 1(1). Pp. 87–95.
 19. Yoon J.-Y., Kim H.-Y., Park D.-W. Pre-feasibility study results on NEAREST between the ROK, the DPRK and the RF// Proceedings of the 6th International Conference “Asian Energy Cooperation: Forecasts and Realities”. Irkutsk. Energy Systems Institute. 2008. Pp. 59–67.
-

UDK 621.311.001.57:004.67

**SOFTWARE TOOLS FOR THE FORMATION AND ANALYSIS
OF MANY OPTIONS FOR CALCULATING THE ORIRES MODEL
AND PRESENTING THE RESULTS IN A WEB APPLICATION**

Ivan L. Trofimov

Senior Engineer, e-mail: t_john88@mail.ru

Leonid N. Trofimov

Lead software developer, e-mail: trofi.isem@yandex.ru

Melentiev Energy System Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia

Abstract. Data analysis in multivariate calculations of interstate power grids expansion requires software tools with a convenient graphical interface to compare results of the optimization model solutions. This article shows the possibilities of visualization and analysis of the “ORIRES” model solutions in the formation of many different options for the initial conditions - the input parameters of the model; and technologies of the web application “ESAS” for presenting research results to a wide range of Internet users.

Keywords: data processing, data visualization, web-application, geographic information system, optimization model.

References

1. Belyaev L.S., Podkovalnikov S.V., Saveliev V.A., Chudinova L.Y. Effektivnost' mezhgosudarstvennykh elektricheskikh svyazey [Efficiency of interstate electrical interconnections]. Novosibirsk. Nauka = Science. 2008. 239 p. (in Russian)
2. Belyaev L.S., Podkovalnikov S.V., Saveliev V.A. etc. Nauchnyy otchet. Programma razvitiya gidroenergetiki Rossii do 2030 goda na perspektivu do 2050 goda [Scientific report. The program of hydropower development in Russia up to 2030 and on the prospect until 2050]. Irkutsk. 2015. 402 p. (in Russian)
3. Organizatsiya po razvitiyu i kooperatsii global'nogo energeticheskogo ob'yedineniya (GEIDCO) [Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization (GEIDCO)] Available at: <https://geidco.org/category/24?lang=en> (accessed 07.07.2019). (in Russian)
4. Podkovalnikov S.V., Savelev V.A., Khamisov O.V., Chudinova L.Yu. Obosnovaniye effektivnosti mezhgosudarstvennykh energoob'yedineniy s razdeleniyem effektivov mezhdu uchastnikami [Justification of Effectiveness of International Power Interconnections with Separation of Effects between Participants] // Автоматика и телемеханика = Automation and remote control. 2018. vol. 10. Pp. 1756–1765. (in Russian)
5. Podkovalnikov S.V., Trofimov I.L., Trofimov L.N. Tekhnologicheskiye aspekty geoinformatsionnoy vychislitel'noy sistemy dlya podderzhki issledovaniy v oblasti formirovaniya mezhgosudarstvennykh energoob'yedineniy [The Data Processing and Geo Information System Technological Aspects to Support Research in the field of Prospective Interstate Electric Power Connections Development] // Programmaya inzheneriya = Software Engineering. 2018. no 8. Pp. 349–360. (in Russian)
6. Ekonomicheskaya i sotsial'naya komissiya OON dlya Azii i Tikhogo okeana (ESKATO OON) [The United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (UN ESCAP)]. Available at: <https://unescap.org/research> (accessed 25.03.2019). (in Russian)
7. Energeticheskiy portal ESKATO OON [Asia Pacific Energy Portal, UN ESCAP]. Available at: <https://asiapacificenergy.org/> (accessed 23.04.2019). (in Russian)
8. Belyaev L.S., Chudinova L.Yu., Khamisov O.V., Kovalev G.F., Lebedeva L.M., Podkovalnikov S.V. and Savel'ev V.A. Studies of interstate electric ties in Northeast Asia // International Journal of Global Energy Issues. 2002. vol. 17(3). Pp. 228–249.
9. Bussieck M.R., Meeraus A. General Algebraic Modeling System (GAMS). Chapter 8. In: Kallrath J. (eds) Modeling Languages in Mathematical Optimization. Applied Optimization, Том 88, Springer, Boston, MA, 2004 г.
10. Chimeddorj D. Power Sector of Mongolia, Regional cooperation policy // Northeast Asia Regional Power Interconnection Forum. (Beijing, China, 26-27 October 2016). Beijing. 2016. Pp. 3–26.
11. Churkin A., Bialek J. Analysis of the prospective energy interconnections in Northeast Asia and development of the data portal // 10th International Conference on Asian Energy Cooperation (AEC 2017), E3S Web Conf.: 2018. № 27. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/02/e3sconf_aec2018_01003.pdf (accessed 26.07.2019).

12. Energy Statistical Analytical Service. Available at: <http://www.esas.com.ru/> (accessed 26.07.2019).
13. Omatsu R. Interim Report by Asia International Grid Connection Study Group // 10th International Conference on Asian Energy Cooperation (AEC 2017), E3S Web Conf.: 2018. № 27. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/02/e3sconf_aec2018_01004.pdf (accessed 26.07.2019)
14. Podkovalnikov S.V., Trofimov I.L., Trofimov L.N. Technological aspects of a geographic information computing system to support research in the field of the formation of interstate energy associations // Journal of Software Engineering. 2018. Issue 1. Pp. 349–360.
15. Podkovalnikov S.V., Trofimov I.L. and Trofimov L.N. Data processing and optimization system to study prospective interstate power interconnections // 10th International Conference on Asian Energy Cooperation (AEC 2017), E3S Web Conf.: 2018. № 27. Available at: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/02/e3sconf_aec2018_01007.pdf (accessed 26.07.2019)
16. Seung M. Role of Korea for Developing the East Asia Super Grid // 20th International Conference on Electrical Engineering. Jeju. 2014.
17. Tofael A., Mekhilef S., Shah R. Mithulananthan N., Seyedmahmoudian M. and Horan B., ASEAN power grid: A secure transmission infrastructure for clean and sustainable energy for South-East Asia, Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. 2017. vol. 67. Pp. 1420–1435.
18. Xuming L. Application and research of global grid database design based on geographic information // Global Energy Interconnection. 2018. vol. 1(1). Pp. 87–95.
19. Yoon J.-Y., Kim H.-Y., Park D.-W. Pre-feasibility study results on NEAREST between the ROK, the DPRK and the RF// Proceedings of the 6th International Conference “Asian Energy Cooperation: Forecasts and Realities”. Irkutsk. Energy Systems Institute. 2008. Pp. 59–67.