

УДК: 004.4

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ДЛЯ РАСЧЁТА И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Кузьмин Владимир Русланович

аспирант, e-mail: kuzmin_vr@isem.irk.ru

Отдел «Системы искусственного интеллекта в энергетике»

Институт систем энергетики имени Мелентьева, СО РАН,

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д.130

Аннотация. В рамках исследований по оценке влияния энергетики на геоэкологию региона выполняется разработка Web-ориентированной информационно-аналитической системы (WIS) для поддержки принятия решений в области экологии и энергетики. Одним из ее модулей является информационная подсистема (IS PEF) для расчёта количества вредных выбросов от объектов энергетики и визуализации результатов расчетов. В статье приводятся онтологии предметной области, использованные для проектирования базы данных IS PEF, подробно описана разработанная структура базы данных. Приведены архитектура IS PEF, детальное описание ее функциональных возможностей и агентов, а также проиллюстрированы результаты работы IS PEF.

Ключевые слова: информационная подсистема, геоэкология, математическое моделирование, визуализация, онтологии, база данных.

Цитирование: Кузьмин В.Р. Разработка информационной подсистемы для расчёта и визуализации вредных выбросов от объектов энергетики //Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 1 (17). С. 142–154. DOI: 10.38028/ESI.2020.17.1.011

Введение. Исследования по влиянию энергетики на геоэкологию региона выполнялась в рамках международного проекта при поддержке фондов ЕАПИ и РФФИ коллективом учёных ИСЭМ СО РАН совместно с коллективами учёных из Армении и Белоруссии. В настоящее время экологическая оценка деятельности объектов энергетики в Байкальском регионе производится при помощи мониторинга и выполнения замеров количества выбрасываемых загрязняющих веществ. Кроме того, оценка влияния объектов энергетики выполняется с применением статистических данных, отчётной информации предприятий, а также государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды» [1, 2]. Для оценки влияния объектов энергетики на природную среду используются показатели выбросов таких загрязняющих веществ, поступающих при работе объектов энергетики, как: водяной пар, сажа (углерод), диоксид серы, оксиды серы и другие [3-5]. В том случае, если информация отсутствует, то оценка влияния энергетики может быть выполнена при помощи результатов вычислительных экспериментов, проведённых с использованием утверждённых правительством РФ методик, например, для определения количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок разной мощности [6-8].

Для реализации проекта российской стороной предложена разработка Web-ориентированной информационно-аналитической системы (WIS) [6], интегрирующей семантические и математические модели, инструментальные средства оценки влияния энергетических объектов на геоэкологию региона, базы знаний и данных, геоинформационную систему. В статье рассматривается, как составляющая WIS,

информационная подсистема IS PEF, предназначенная для расчётов количества вредных выбросов от объектов энергетики и и визуализации результатов расчетов.

1. Структура модели данных для расчёта количества вредных выбросов от объектов энергетики.

Одним из основных модулей WIS является информационная подсистема IS PEF для расчёта количества вредных выбросов от объектов энергетики. Эта подсистема объединяет в себе два уровня WIS: уровень математического моделирования и уровень представления знаний. В соответствии с онтологическим подходом к проектированию базы данных [9] первоначально был выполнен онтологический инжиниринг предметной области данных исследований для последующей разработки базы данных. Полученные онтологии изображены на рис. 1 -2.

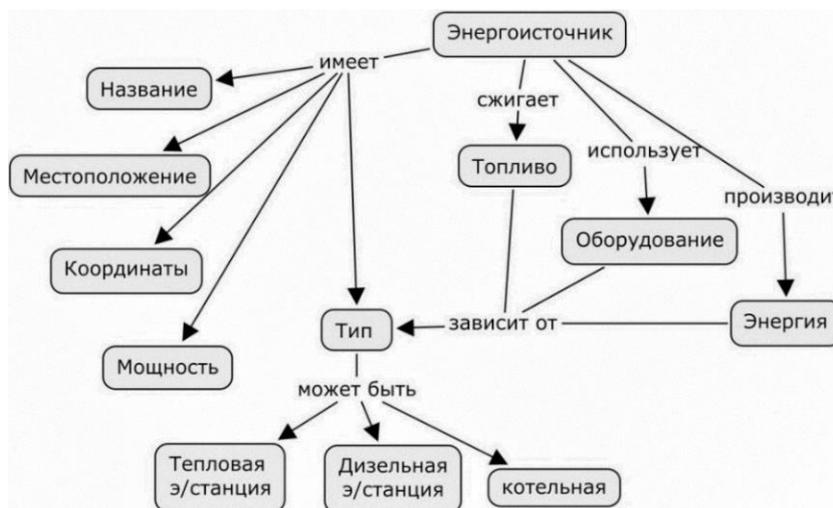


Рис. 1. Онтология типового энергетического объекта

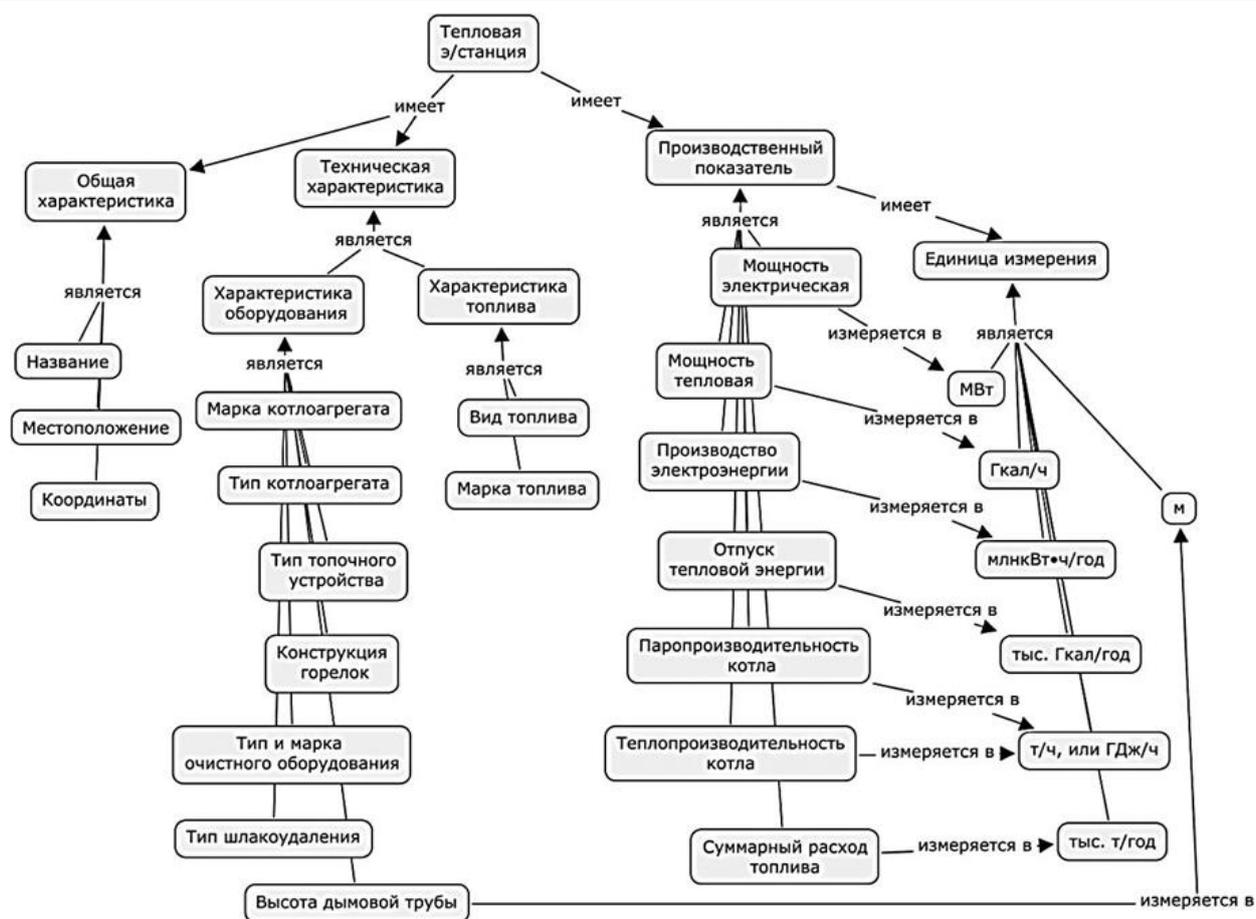
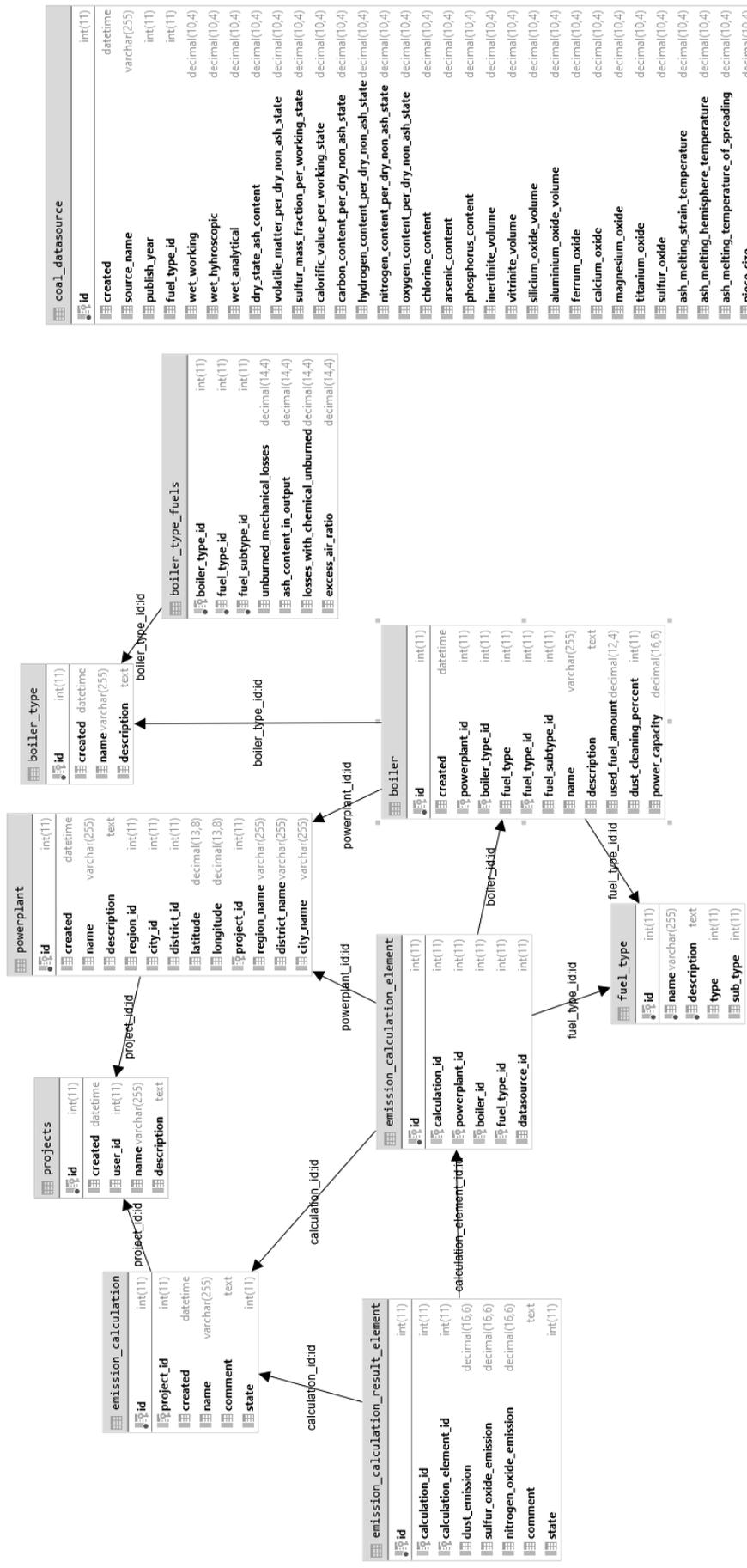


Рис. 2. Онтология тепловой электростанции



Powered by yFiles

Рис. 3. Модель данных предметной области

Онтология типовых энергетических объектов (рис. 1) отражает свойства объекта, тип объекта (тепловая электростанция, дизельная электростанция, котельная), а также взаимосвязи с видом производимой энергии, типом топлива и характеристиками используемого оборудования. На рис. 2 приведена онтология, отражающая основные технические характеристики и производственные показатели конкретных типов энергообъектов, численные характеристики которых хранятся в базе данных. Разработанная на основе этих онтологий модель данных приведена на рис. 3. Рассмотрим подробнее объекты разработанной модели данных.

При работе с IS PEF объектом верхнего уровня, является проект, сведения о котором хранятся в таблице *projects*. К нему в последствии привязываются все остальные объекты при помощи уникального идентификатора проекта *project_id*. Данные об электростанциях, участвующих в расчётах, хранятся в объекте *powerplant*, который содержит в себе подробную информацию объекта – название, географические координаты, сведения о местоположении (регион, город). Установки, сжигающие топливо, хранятся в отдельной таблице *boiler*, которая связывается с электростанцией при помощи уникального идентификатора *powerplant_id*. Объект *boiler* содержит характеристики установки, такие, как тип установки, тип сжигаемого топлива, объём сжигаемого топлива, степень очистки и мощность установки. Типы установок описываются объектом *boiler_type*, с которым связаны допустимые к использованию типы топлива. Информация о них хранится в таблице *boiler_type_fuels*, содержащая в себе также информацию о потерях из-за недожога, долю золы в выносе, коэффициент избытка воздуха.

В построенной модели данных каждый источник информации о типе топлива выделен в отдельную таблицу (например, сведения об угле хранятся в таблице *coal_datasource*) и содержит в себе данные о наименовании источника, годе публикации, внутреннем идентификаторе типа топлива для осуществления связки с типом топлива, используемом на электростанции и применяющийся при получении данных для расчётов, а также основных параметрах топлива, таких, как химический состав, теплота сгорания.

Сведения о расчётах описываются объектом *emission_calculation*, который, в свою очередь, привязывается к проекту. Каждый расчёт содержит элементы, в их роли выступают установки электростанций. Элементы описываются объектом *emission_calculation_element*, хранящим идентификаторы расчёта, электростанции, установки, для которых ведётся расчёт, тип топлива и источник данных для типа топлива. Результаты расчёта для каждого элемента хранятся в таблице *emission_calculation_result_element*, включающей идентификатор расчёта, идентификатор элемента расчёта, а также количественные показатели: выброс пыли, выброс оксидов азота, выброс оксидов серы.

Далее, рассмотрим основные функции и архитектуру IS PEF.

2. Основные функции и архитектура IS PEF.

Основными функциями подсистемы IS PEF являются расчёт выбросов вредных веществ от объектов электроэнергетики и визуализация полученных результатов. Функция расчёта выбросов, в свою очередь, требует наличия функции хранения сведений об электростанциях, типах и параметрах видов топок, параметрах топлива.

На рис. 4 изображена архитектура подсистемы IS PEF.

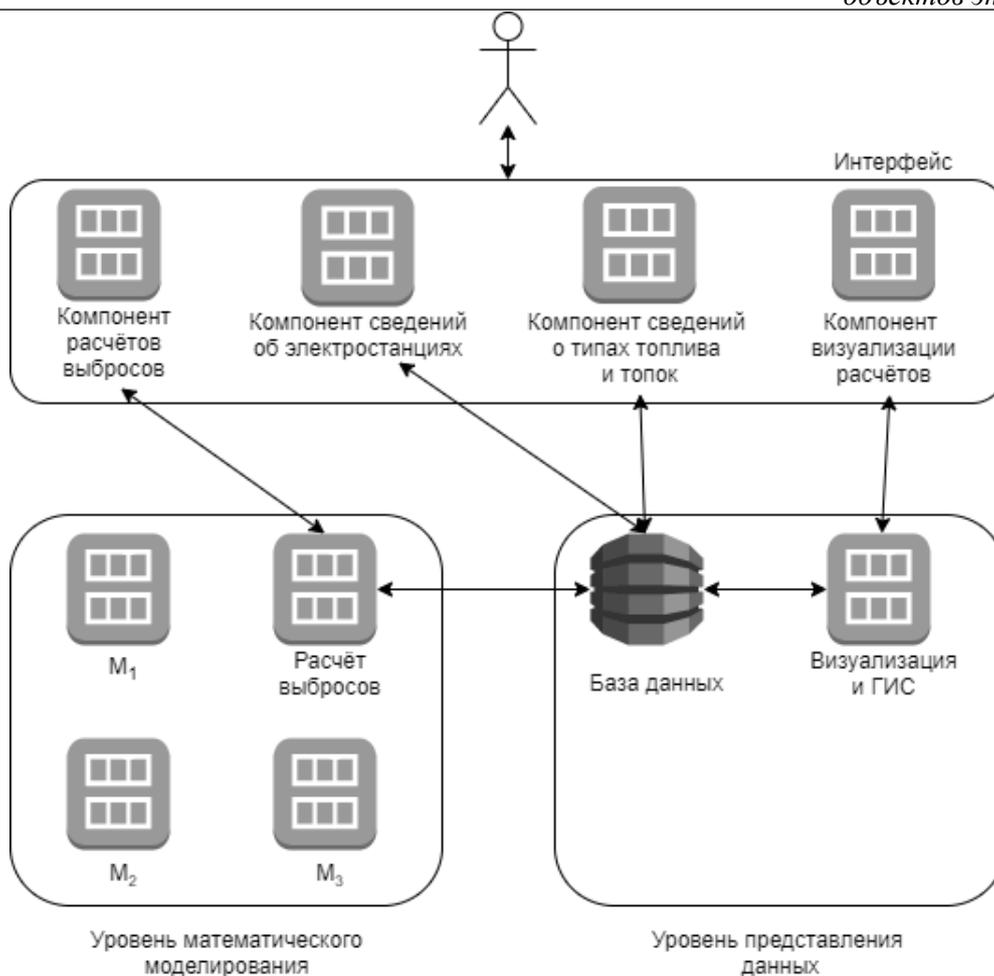


Рис. 4. Архитектура информационной подсистемы IS PEF

Разработанную информационную подсистему можно логически разделить на четыре компонента:

- компонент справочных сведений о типах топлива и топков;
- компонент, отвечающий за сведения об электростанциях;
- компонент, выполняющий расчёт выбросов;
- компонент, отвечающий за визуализацию результатов.

Рассмотрим детально компоненты IS PEF и приведём примеры интерфейсов каждого из них.

Компонент справочных сведений о типах топлива и топков — позволяет централизованно заносить информацию, которая впоследствии используется при внесении данных об электростанциях. При вводе информации пользователь указывает тип топлива (уголь/мазут/дрова), подтип топлива, название типа топлива, а также может дополнительно внести описание типа топлива. Интерфейс этого компонента показан на рис. 5.

Далее, для каждого типа топлива добавляется источник информации, для чего указывается наименование источника, год публикации и характеристики топлива (рис. 6).

Используя полученные данные, пользователь может внести сведения о типах топков, где указывается название типа топки, её описание, а также допустимые типы топлива для сжигания в топке (рис. 7).

При заполнении базы данных сведения о типах и характеристиках сжигаемого топлива, котлов, а также параметрах вредных веществ были взяты из [10, 11].

Тип топлива *	Уголь
Подтип топлива *	Б2
Название топлива *	Азейский уголь
Описание	Азейский им. 50-летия СССР – угольный разрез ПО "Востсибуголь". Расположен в 400 км к северо-западу от г. Иркутск, в Иркутском угольном бассейне. Первая очередь предприятия (годовая производственная мощность 4 млн. т) введена в строй в 1969, вторая (4 млн. т) – в 1972 году. Разрабатываются два горизонтальных пласта сложного строения; мощность первого - 1,5-8,2 м, второго 1,5 – 13,3 м. Расстояние между пластами до 10 м. Добываемые угли – бурые, средняя

Рис. 5. Внесение сведений о типе топлива

Название источника *	Росинформуголь
Год публикации *	2006

Показатели

Влажность рабочая, % W_t^r	27.7500
Влажность гигроскопическая, % W_u	6.0000
Влажность аналитическая, % W^a	7.0000
Зольность на сухое состояние, % A^d	25.7500
Выход летучих веществ на сухое состояние, % V^{daf}	0.0000

Рис. 6. Внесение сведений о источнике сведений о параметрах топлива

Название *	Слоевая топка
Описание	

Характеристики

Тип топлива	Класс топлива	Потеря с мех. недожегом q_4 , %	Доля золы в уносе $A_{ун}$, б/р	Потеря с хим. недожегом q_3 , %	Кэф-ент избытка воздуха A_t , б/р
Уголь	Б2	7.5000	0.2500	1.5000	1.4000
Уголь	Б2Р	7.5000	0.2500	1.5000	1.4000
Уголь	Б3Р	7.5000	0.2500	1.5000	1.4000

Рис. 7. Внесение сведений о типе топки

Компонент, отвечающий за сведения об электростанциях – позволяет детально описать объект электроэнергетики. Пользователь указывает наименование объекта, его местоположение и географическую принадлежность. Дополнительно к объекту добавляются сведения об установках на электростанции, для которых указывается тип котла, тип и класс топлива, само топливо, а также установленная мощность в Гкал/ч, потребление топлива в тоннах и степень пылеочистки в %. Пример внесения сведений показан на рис. 8.

Редактирование э/э

Описание

Название
Новоиркутская ТЭЦ

Описание
|

Местоположение

Регион Иркутская область **Район** Иркутский район **Населённый пункт** Иркутск

Широта 52.25059350 **Долгота** 104.20635360

Котлы

Название	Тип котла	Тип топлива	Класс топлива	Топливо	Установленная мощность, ГКал/ч	Потребление, т.	Пылеочистка, %	Действия
Энергоблок 2	Слевая топка	Уголь	Б2	Азейский	7.300000	2.9000	50	Удалить
Энергоблок 4	Слевая топка	Уголь	Б2	Азейский	1.000000	0.3000	0	Удалить

Рис. 8. Внесение информации об электростанции

Компонент, производящий расчёт выбросов – позволяет выполнить расчёты выбросов вредных веществ при сжигании топлива в топках электростанций в зависимости от настройки параметров. Для запуска расчёта пользователю необходимо выбрать электростанции, для которых выполняется расчет, и указать источник данных с параметрами топлива. Пример создания нового варианта расчёта приведён на рис. 9.

Новый расчёт выбросов

Название
Тестовый расчёт

Электростанции

<input checked="" type="checkbox"/>	Название котла	Топливо	Источник данных
<input checked="" type="checkbox"/>	Новоиркутская ТЭЦ		
<input checked="" type="checkbox"/>	Энергоблок 2	Уголь - Азейский уголь	Росинформуголь (2006)
<input checked="" type="checkbox"/>	Энергоблок 4	Уголь - Азейский уголь	Росинформуголь (2006)

Рис. 9. Создание нового варианта расчёта выбросов

Для расчётов используются формулы и сведения, указанные в методиках и методических пособиях [12-14]. Сами расчёты выполняются при помощи агент-сервисной технологии [15]: при запуске варианта расчёта он ставится в очередь на выполнение, после чего главный агент-координатор передаёт свободному агенту, отвечающему за расчёт выбросов, задание с указанными пользователем параметрами расчёта. Применение агент-сервисного подхода позволяет как снизить нагрузку на основного агента-координатора, так и производить масштабирование системы при необходимости проведения расчётов с большим объёмом данных. Подробно схема использования агент-сервисного подхода при разработке WIS рассматривалась в [16].

Полученные результаты записываются в базу данных, где они привязываются к котлам энергетических установок, для которых производился расчёт, а также к типу сжигаемого топлива.

Компонент, отвечающий за визуализацию - позволяет отобразить полученные результаты, как в виде таблиц с настраиваемой степенью детализации, так и с помощью визуализации результатов на карте с применением сервиса Яндекс - Карты. За визуализацию результатов на карте отвечает отдельный агент визуализации. Пример визуализации результатов расчетов (рис. 10) приведён на рис. 11.

Результаты расчёта выбросов

Результаты расчётов

Объект	Топливо	Выброс всего, тыс.т/год	Твёрдые вещества	Оксиды серы	Оксиды азота	Степень очистки, %	Установленная мощность, Гкал/ч
Иркутская область		0.033375	0.030310	0.003000	0.000065		1.000000
Иркутский район		0.033375	0.030310	0.003000	0.000065		1.000000
Иркутск		0.033375	0.030310	0.003000	0.000065		1.000000
Новоиркутская тэц		0.033375	0.030310	0.003000	0.000065		1.000000
Энергоблок 4	Уголь (Азейский уголь)	0.033375	0.030310	0.003000	0.000065	0	1.000000

Рис. 10. Результаты расчёта выбросов в табличном представлении

Результаты расчёта выбросов: визуализация

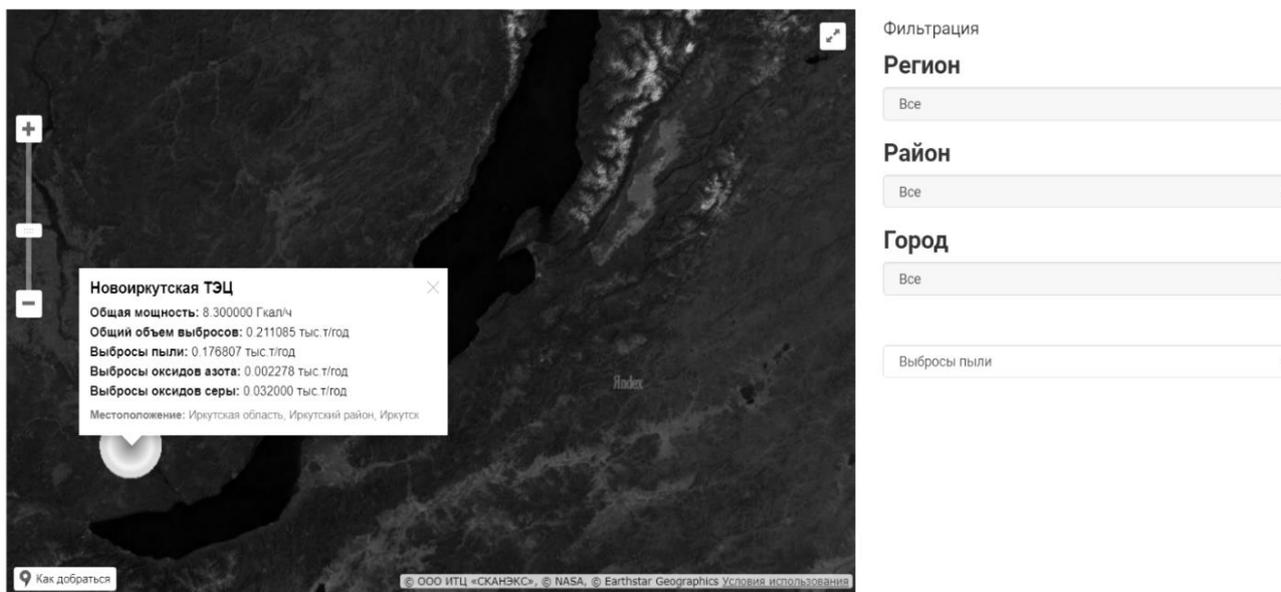


Рис. 11. Результаты расчёта выбросов в виде тепловой карты

Заключение. В статье рассмотрена разработка Web-ориентированной информационно-аналитической системы (WIS) для оценки влияния энергетики на геоэкологию региона. Дано подробное описание одного из модулей WIS - информационной подсистемы IS PEF для расчёта количества вредных выбросов от объектов энергетики. Приведены онтологии предметной области, использованные при проектировании базы данных, показана построенная с помощью онтологий модель данных. Приведена архитектура информационной подсистемы IS PEF, описаны функции и интерфейсы каждого из ее компонентов. Показаны результаты работы IS PEF. В будущем планируется добавить в подсистему возможность расчёта переноса вредных веществ от источника выброса.

Были получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ: №2019666838 «Информационная система для определения загрязнений от энергетических объектов (IS PEF)» [17] и №2019622456 «База данных выбросов вредных веществ от энергетических объектов (DB PEF)» [18].

Отдельные аспекты прорабатывались в рамках проектов, поддержанных грантами РФФИ №19-37-50070, № 20-07-00195.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Массель Л.В. и др. Методы и технологии оценки влияния энергетики на геоэкологию региона: научная коллективная монография / НПУА. – Ереван: Изд-во «Чартарагет», 2019. – 252 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». Режим доступа: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2017/ (дата обращения: 15.01.2020)
3. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. СПб, издательство «Петербург – XXI век», 1995. - 144с.

4. Санеев Б.Г., Иванова И.Ю., Майсюк Е.П., Тугузова Т.Ф. Внедрение природоохран-ных мероприятий в теплоэнергетике центральной экологической зоны Байкальской природной территории. // Экология и промышленность России, 2018. Т.22 №7. С.20-25
5. Массель Л.В., Иванова И.Ю., Ворожцова Т.Н., Майсюк Е.П., Ижбулдин А.К., Зорина Т.Г., Барсегян А.Р. Онтологические аспекты исследования взаимовлияния энергетики и геоэкологии // Онтология проектирования. 2018. Т.8. №4 (30). С. 550-561. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4.
6. Массель Л.В. Проблема оценки влияния энергетики на геоэкологию региона: постановка и пути решения // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №2 (10). С. 5-21. DOI:10.25729/2413-0133-2018-2-01
7. Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Анализ существующих методов оценки воздействия энергетических объектов на окружающую среду // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №4(12). С. 113-127. DOI: 10.25729/2413-0133-2018-4-12
8. Санеев Б.Г., Майсюк Е.П., Иванова И.Ю. Учет региональных особенностей в методах оценки воздействия энергетики на природную среду // Известия РАН. Энергетика. 2016. № 6. С. 79-85.
9. Ворожцова Т.Н., Макагонова Н.Н., Массель Л.В. Онтологический подход к проектированию базы данных для оценки влияния энергетики на окружающую среду // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 31-41. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-03
10. Качественные характеристики угольной продукции России. Информационно-справочное издание. — М.; «Росинформуголь», 2006 — 258 с.
11. Энергетическое топливо СССР (ископаемые угли, горючие сланцы, торф, мазут и горючий природный газ): Справочник / В.С. Вдовченко, - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 184 с.
12. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. – М., 1999. – 53 с.
13. Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. – СПб., 2012. – 223 с.
14. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н.В. Кузнецова и др., - М., "Энергия", 1973. - 296 с.
15. Гальперов В.И. Методы, модели и алгоритмы построения многоагентных систем в энергетике: на примере задачи оценивания состояния электроэнергетических систем: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, специальность 05.13.18 / – Иркутск: Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, 2017.
16. Liudmila V. Massel, Vladimir R. Kuzmin Typal intelligent DSS for making strategic decisions in the energy sector and examples of application based on agent-service approach // Proceedings of the 21st Workshop on Computer Science And Information Technologies (CSIT 2019), DOI: <https://doi.org/10.2991/csit-19.2019.48>
17. Массель Л.В., Массель А.Г., Кузьмин В.Р. Информационная система для определения загрязнений от энергетических объектов (IS PEF). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019666838, 16 декабря 2019 г.
18. Массель Л.В., Массель А.Г., Кузьмин В.Р., Майсюк Е.П. База данных выбросов вредных веществ от энергетических объектов (DB PEF). Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019622456, 20 декабря 2019 г.

UDK: 004.4

DEVELOPMENT OF INFORMATION SUBSYSTEM FOR CALCULATION AND VISUALIZATION OF HARMFUL EMISSIONS FROM ENERGY OBJECTS

Kuzmin Vladimir Ruslanovich

Ph.D. student, e-mail: kuzmin_vr@isem.irk.ru

Department of Artificial Intelligence Systems in Energy Sector

Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS,

664033, Irkutsk, Lermontova str., 130

Abstract. As a part of study of impact assessment of energy on the geocology of the region, a Web-based information-analytical system (WIS) is being developed to support decision-making in the field of ecology and energy. One of its modules is the information subsystem (IS PEF) for calculating the amount of harmful emissions from energy facilities and visualizing calculation results. The article describes the domain ontologies used for designing the IS PEF database, and the developed database structure is described in detail. The architecture of IS PEF is presented, a detailed description of its functionality and agents, and the results of the work of IS PEF are illustrated.

Keywords: information subsystem, geocology, mathematical modeling, visualization, ontologies, database.

References

1. Massel L.V. et.al. Metody i tekhnologii otsenki vliyaniya energetiki na geokologiyu regiona: nauchnaya kollektivnaya monografiya [Methods and technologies for assessing the impact of energy on the geocology of the region: a scientific collective monograph] / Yerevan: Izd-vo «Chartaraget» = Yerevan: Chartaraget Publishing House, 2019. 252 p.
2. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2017 godu» [State report "On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2017"]. Available at: http://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2017/ (accessed 15.01.2020) (in Russian)
3. Perechen' i kody veshchestv, zagryaznyayushchikh atmosferyy vozdukh [The list and codes of substances polluting the atmospheric air]. SPb, izdatel'stvo "Peterburg – XXI vek" = St. Petersburg, publishing house "Petersburg - XXI Century", 1995. – 144p.
4. Saneev B.G., Ivanova I.Yu., Maysyuk E.P., Tuguzova T.F. Vnedreniye prirodookhran-nykh meropriyatiy v teploenergetike tsentral'noy ekologicheskoy zony Baykal'skoy prirodnoy territorii [Implementation of environmental protection measures in the power system of the central ecological zone of the Baikal natural territory] // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* = Ecology and industry of Russia. 2018. Vol.22 No. 7. pp 20-25
5. Massel' L.V., Ivanova I.YU., Vorozhtsova T.N., Maysyuk Ye.P., Izhbuldin A.K., Zorina T.G., Barsegyan A.R. Ontologicheskiye aspekty issledovaniya vzaimovliyaniya energetiki i geokologii [Ontological aspects of the study of the interaction of energy and geocology] //

- Ontologiya proyektirovaniya = Ontology of Designing. 2018. V.8. №4 (30). Pp. 550-561. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-4. (in Russian)
6. Massel' L.V. Problema otsenki vliyaniya energetiki na geokologiyu regiona: posta-novka i puti resheniya [The problem of assessing the impact of energy on the regional geo-ecology: formulation and solutions] // *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii* = Information and mathematical technologies in science and management. 2018. №2 (10). Pp. 5-21. DOI:10.25729/2413-0133-2018-2-01 (in Russian)
 7. Maysyuk Ye.P., Ivanova I.Yu. Analiz sushchestvuyushchikh metodov otsenki vozdeystviya energeticheskikh ob"yektov na okruzhayushchuyu sredu [Analysis of existing methods for assessing the impact of energy facilities on the environment] // *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii* = Information and mathematical technologies in science and management. 2018. №4 (12). Pp. 113- 127. DOI: 10.25729/2413-0133-2018-4-12 (in Russian)
 8. Saneev B.G., Maysyuk E.P., Ivanova I.Yu. Uchet regional'nykh osobennostey v metodakh otsenki vozdeystviya energetiki na prirodnyuyu sredu [Consideration of regional features in methods for assessing the impact of energy on the environment] // *Izvestiya RAN. Energetika* = *Izvestiya RAS. Energy*. 2016. Vol. 6. pp. 79-85.
 9. Vorozhtsova T.N., Makagonova N.N., Massel L.V. Ontologicheskiy podkhod k proyektirovaniyu bazy dannykh dlya otsenki vliyaniya energetiki na okruzhayushchuyu sredu [Ontological approach to designing a database to assess the impact of energy on the environment] // *Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauke i upravlenii* = Information and mathematical technologies in science and management. 2019. № 3 (15). Pp. 31-41. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-03
 10. Kachestvennyye kharakteristiki ugolnoy produktsii Rossii. Informatsionno-spravochnoye izdaniye [Qualitative characteristics of coal products in Russia. Information and reference publication]. — M. ; Rosinformugol = Moscow, Rosinformugol, 2006 – 258p.
 11. Energeticheskoye toplivo SSSR (iskopayemye ugli, goryuchiye slantsy, torf, mazut i goryuchiy prirodnyy gaz): Spravochnik [Energy fuel of the USSR (fossil coals, oil shale, peat, fuel oil and combustible natural gas): Directory] / ed. By Vdovchenko V.S. - M.: Energoatomizdat = Moscow, Energoatomizdat, 1991. – 184p.
 12. Metodika opredeleniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu pri szhiganiy topliva v kotlakh proizvoditel'nost'yu meneye 30 tonn para v chas ili meneye 20 Gkal v chas [The methodology for determining emissions of pollutants into the atmosphere when burning fuel in boilers with a capacity of less than 30 tons of steam per hour or less than 20 Gcal per hour]. M. = Moscow, 1999, 53p.
 13. Metodicheskoye posobiye po raschetu, normirovaniyu i kontrolyu vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernyy vozdukh [Methodological manual for the calculation, regulation, and control of emissions of pollutants into the air]. SPb. = St. Petersburg, 2012. – 223p.
 14. Teplovoy raschet kotel'nykh agregatov (Normativnyy metod) [Thermal calculation of boiler units (Regulatory method)] / ed. By Kuznetsov N.V. et al. - M., Energiya = Moscow, Energy, 1973. – 296p.
 15. V. I. Galperov. Metody, modeli i algoritmy postroeniya mnogoagentnykh sistem v ehnergetike na primere zadachi ocenivaniya sostoyaniya ehlektroehnergeticheskikh system: Avtoreferat

- dissertatsii na soiskaniye uchonoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, spetsialnost 05.13.18 [Methods, models and algorithms for creating multiagent systems in energy sector (based on example of task for energy systems state assessment): Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.18]. Irkutsk, 2017 (in Russian)
16. Liudmila V. Massel, Vladimir R. Kuzmin Typal intelligent DSS for making strategic decisions in the energy sector and examples of application based on agent-service approach // Proceedings of the 21st Workshop on Computer Science And Information Technologies (CSIT 2019), DOI: <https://doi.org/10.2991/csit-19.2019.48>
 17. Massel L.V., Massel A.G., Kuzmin V.R. Informatsionnaya sistema dlya opredeleniya zagryazneniy ot energeticheskikh ob"yektov (IS PEF). Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2019666838, 16 dekabrya 2019 [Information system for determining pollution from energy facilities (IS PEF). Certificate of state registration of a computer program No. 2019666838, December 16, 2019].
 18. Massel L.V., Massel A.G., Kuzmin V.R, Maysyuk Ye.P. Baza dannykh vybrosov vrednykh veshchestv ot energeticheskikh ob"yektov (DB PEF). Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh № 2019622456, 20 dekabrya 2019 [Database of emissions of harmful substances from energy facilities (DB PEF). Certificate of state registration of the database No. 2019622456, December 20, 2019]

