

Министерство образования и науки Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»**

**16+
ISSN 2071-6168**

**ИЗВЕСТИЯ
ТУЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Выпуск 10

**Тула
Издательство ТулГУ
2018**

Председатель

Грязев М.В., д-р техн. наук, проф., ректор Тульского государственного университета.

Заместитель председателя

Воротилин М.С., д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе.

Ответственный секретарь

Фомичева О.А., канд. техн. наук, доц., начальник Управления научно-исследовательских работ.

Главный редактор

Прейс В.В., д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой.

Члены редакционного совета:

Батанина И.А., д-р полит. наук, проф., –

отв. редактор серии «Гуманитарные науки»;

Берестнев М.А., канд. юрид. наук, доц., –

отв. редактор серии «Экономические и юридические науки». Часть 2. «Юридические науки»;

Борискин О.И., д-р техн. наук, проф., –

отв. редактор серии «Технические науки»;

Егоров В.Н., канд. пед. наук, доц., –

отв. редактор серии «Физическая культура. Спорт»;

Заславская О.В., д-р пед. наук, проф., –

отв. редактор серии «Педагогика»;

Качурин Н.М., д-р техн. наук, проф., –

отв. редактор серии «Науки о Земле»;

Пономарева О.Н., д-р хим. наук, доц., –

отв. редактор серии «Естественные науки»;

Сабина А.Л., д-р экон. наук, доц., –

отв. редактор серии «Экономические и юридические науки». Часть 1. «Экономические науки».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор

Борискин О.И., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Заместитель ответственного редактора

Ларин С.Н., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Ответственный секретарь

Яковлев Б.С., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула).

Члены редакционной коллегии:

Александров А.Ю., д-р техн. наук (Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева, г. Ковров);

Баласанян Б.С., д-р техн. наук (Государственный инженерный университет Армении, г. Ереван, Армения);

Васин С.А., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Дмитриев А.М., д-р техн. наук (Московский государственный технический университет «СТАНКИН», г. Москва);

Запонец Я., д-р техн. наук (Технический университет Острова, г. Острава, Чехия);

Ковалев Р.А., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Колтунович Т.Н., д-р техн. наук (Люблинский технологический университет, г. Люблин, Польша);

Кристалл М.Г., д-р техн. наук (Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград);

Ларкин Е.В., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Мельников В.Е., д-р техн. наук (Национальный исследовательский университет «МАИ», г. Москва);

Мещеряков В.Н., д-р техн. наук (Липецкий государственный технический университет, г. Липецк);

Мозжечков В.А., д-р техн. наук

(АО «Тулаэлектропривод», г. Тула);

Распопов В.Я., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Савин Л.А., д-р техн. наук (Орловский государственный технический университет, г. Орел);

Семилет В.В., д-р техн. наук (АО «Конструкторское бюро приборостроения», г. Тула);

Сорокин П.А., д-р техн. наук (Российский

университет транспорта «МИИТ», г. Москва);

Степанов В.М., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Сычугов А.А., канд. техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Трегубов В.И., д-р техн. наук (АО «НПО «СПЛАВ», г. Тула);

Чуков А.Н., д-р техн. наук (ТулГУ, г. Тула);

Яцун С.Ф., д-р техн. наук (Юго-Западный

государственный университет, г. Курск).

Сборник зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). ПИ № ФС77-61104 от 19 марта 2015 г.

Подписной индекс сборника 27851 по Объединённому каталогу «Пресса России».

Сборник включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук», утвержденный ВАК Минобрнауки РФ.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 629.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЩИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ЭНЕРГОСИСТЕМ В РАЗЛИЧНЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Е.Г. Гашо, С.В. Гужов, С.В. Макрушин

В настоящее время наибольший объём работы предстоит осуществить в рамках повышения качества формирования информационных моделей схем тепловых сетей, что обусловлено чрезвычайно низким их качеством. В настоящей работе рассмотрена процедура формирования комплекса геопространственных данных о городской системе снабжения потребителей тепловой энергией. Показаны источники данных, предложена методология их обработки. На примере мегаполиса Нижний Новгород сформирован граф тепловой сети. Показы перспективы применения полученной карты тепловой плотности помещений непромышленного характера.

Ключевые слова: система теплоснабжения, прогнозирование, граф, тепловая карта.

1. Введение

Задача формирования массива геопространственных данных системе теплоснабжения и о ключевых геопространственных факторах в современных условиях определяется актуальностью анализа и тенденцией развития спроса на тепловую энергию для ряда крупных российских городов, находящихся в различных природно-климатических зонах [1].

Наибольший интерес представляет процедура формирования цифровой модели, содержащей данные, позволяющие как анализировать пространственную инфраструктуру системы теплоснабжения городов [2], так и оценивать спрос на энергоресурс в пространственной привязке. Сформированные модели являются инструментом для сравнительного исследования общих закономерностей развития городских энергосистем в различных социально-экономических и природно-климатических условиях. В частности, полученные модели позволяют учитывать тенденции изменения размера города, централизацию расселения и другие пространственные характеристики расселения и их взаимосвязь с пространственной спецификой теплоэнергетической инфраструктуры города, а также дрейф климатических факторов [3,4].

2. Методология формирования математической модели

Целью построения пространственной модели ключевого драйвера спроса на тепловую энергию является получение в первом приближении пространственного распределения спроса на тепловую энергию в пределах города. Ввиду недостаточности открытых данных, отражающих фактическое потребление тепловой энергии в городах с высокоточной географической привязкой, была принята рабочая гипотеза о том, что ключевым драйвером спроса на тепловую энергию непромышленных потребителей яв-

ляется площадь отапливаемых зданий. Модель формируемых массивов данных состоит из двух основных блоков [5]:

- модель пространственной топологии городских теплосетей;
- пространственная модель ключевого драйвера спроса на тепловую энергию[6].

Модель пространственной топологии городских теплосетей представляет собой граф, в котором узлами являются котельные и ТЭЦ, а связями – ключевые (в первую очередь по номинальной пропускной способности) трубопроводы, соединяющие узлы. Для узлов графа реализуется привязка к конкретным ТЭЦ и котельным, включая информацию об их географических координатах. Поскольку целью данного графа является определение топологии городской теплосети, то маршруты трубопроводов в модели не фиксируются. Таким образом, для каждого трубопровода имеется информация только о его начальной и конечной точке. Данная часть модели представляет собой массив точек, отражающих характеристики отдельных зданий. Для каждой точки в модели хранится информация о пространственной привязке здания, площадь здания в его проекции на поверхность земли и информация о его этажности. На основании этих данных расчетным способом для каждой точки получается оценка суммарной площади помещений здания.

Для формирования модели целесообразно использовать геоинформационную систему. Ключевым требованием к геоинформационной системе является работа с OpenStreetMap как с сервисом геоданных. После рассмотрения доступных альтернатив выбор был сделан в пользу использования ГИС QGIS (Quantum GIS). Интерфейс QGIS намного более удобный, чем у альтернативных свободно распространяемых ГИС, таких как GRASS, а в некоторых аспектах даже превосходит популярные коммерческие решения. QGIS обладает всеми возможностями мощной современной инструментальной ГИС: работа с распространенными форматами файлов с векторными и растровыми пространственными данными, работа с пространственными данными, хранящимися в СУБД, а также в публичных геосервисах, в том числе OpenStreetMap.

Для подготовки данных к последующему анализу цифровая модель содержит данные в виде графа, сформированного посредством Gephi. С помощью данного ПО производится аналитика по структуре графа тепловой сети, выявляются ключевые узлы тепловой сети.

Разработанную в рамках исследования технологию формирования блока данных, отвечающих за модель пространственной топологии городских теплосетей, можно представить в виде 6 шагов.

1. В рамках первого шага формируется массив координат котельных и ТЭЦ.
2. Импорт массива координат в ГИС QGIS.
3. Формирование связей между объектами инфраструктуры на основании карт-схем.
4. Экспорт данных из ГИС QGIS в граф системы теплоснабжения.
5. Формирование фактической связи между объектами маркеров и объектами отрезков.
6. Загрузка данных в Gephi с последующим анализом графов.

При построении модели алгоритм действий необходимо несколько корректировать, прежде всего в связи с нюансами представления исходных данных об объектах теплоэнергетической инфраструктуры.

3. Результаты создания цифровой модели геопропространственных данных о теплоэнергетической инфраструктуре для г. Нижний Новгород

Для сбора данных был выбран город Нижний Новгород с населением более миллиона человек. Данные получены из схемы теплоснабжения города Нижнего Новгорода на период с 2012 года до 2027 года (проект) и электронной модели системы теплоснабжения г. Нижнего Новгорода (ОАО «Газпром промгаз»). В соответствии со схе-

мой теплоснабжения в модели пространственной топологии городских теплосетей Нижнего Новгорода отображено 525 узлов. Из них 2 ТЭЦ (Автозаводская и Сормовская), остальные – котельные или тепловые насосные станции.

Полученные адреса котельных и ТЭЦ обработаны скриптом на языке программирования Python, который запрашивает координаты объектов с сервиса геокодирования Яндекс.Карт(таблица). Полученные координаты перенесены на карту в геоинформационной системе QGIS (рис. 1).

Пример координат, полученных с помощью сервиса геокодирования Яндекс.Карт для ТЭЦ и котельных Нижнего Новгорода

Id	Адрес	Lon	Lat
1	Академика Баха улица,	43.93784	56.28922
2	Анкудиновское шоссе, 24-А	44.000857	56.263747
3	Архитектурная улица, 1-А	43.945512	56.280012
4	Белинского улица, 106-А	44.017494	56.316729
5	Белинского улица,102	44.013892	56.315785
6	Белинского улица,85	44.027977	56.31892
7	Белинского улица,89	44.027914	56.318251
8	Березовская улица,82	43.874796	56.32532
9	Богородского улица,15	44.052061	56.293911
10	Богородского улица,9	44.0473	56.294106

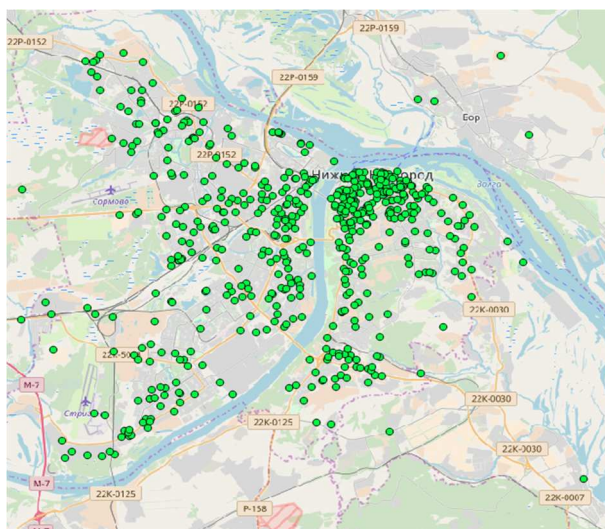


Рис. 1. ТЭЦ и котельные Нижнего Новгорода на карте

Далее были соединены узлы согласно документу «Электронная модель системы теплоснабжения г. Нижнего Новгорода» ОАО «Газпром промгаз». В итоге было получено 567 связей на карте (рис. 2).

Следует отметить, что данная модель была бы точнее, если бы были предоставлены карты из ГИС Zulu или ей подобных, при помощи которых строился проект системы теплоснабжения города, так как все связи были бы однозначно определены.

Для описания специфики потребления тепла в QGIS с помощью OpenStreetMap получена информация обо всех зданиях города: тип здания (равен NULL, если полигон не является зданием), этажность и координаты вершин полигона. С помощью координат зданий были вычислены центры масс каждого здания и их площадь. После всех преобразований каждое здание перенесено на карту в геоинформационной системе QGIS в виде точек. На карте всего получено 51 749 объектов.

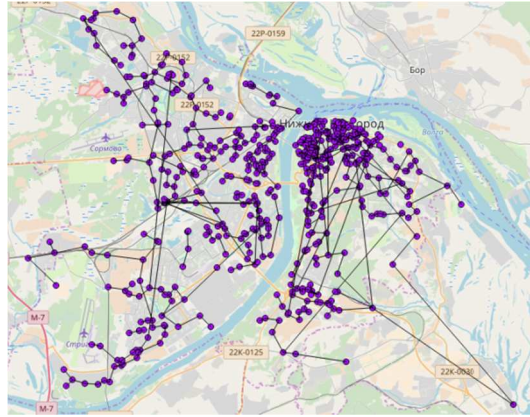


Рис. 2. Граф теплосети Нижнего Новгорода на карте, сделанный при помощи QGIS



Рис. 3. Здания Нижнего Новгорода в виде точек (приближение)

После переноса данных о зданиях на карту по этим данным построена тепловая карта для отображения потребности участков в обеспечении теплом (рис.4). Чем темнее на карте отображается зона, тем больше она нуждается в поставке теплоснабжения, т.к. на данную зону приходится большая площадь помещений на единицу площади поверхности земли.

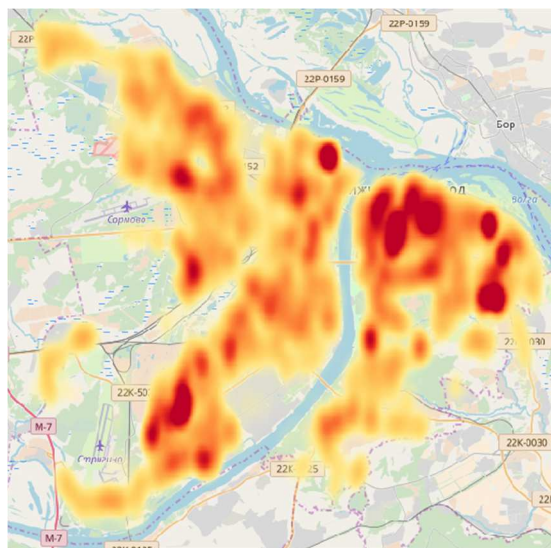


Рис. 4. Теплокарта плотности непромышленных помещений Нижнего Новгорода

Как можно видеть по полученной теплокарте, большая часть потребления тепловой энергии должна приходиться на северо-восток и восток города ближе к берегу реки. Если сравнивать полученные результаты теплосети и тепловой карты, то можно заметить связь между этими двумя моделями. Как видно из графа теплосети, на данном участке расположено большое количество котельных, которые обеспечивают эту зону тепловой энергией

В случае дополнительной загрузки в модель информации о строящихся зданиях, а также кварталах, подлежащих к процедуре реновации, то может быть получена прогнозная теплокарта города, которая будет использоваться при составлении перспективных схем теплоснабжения города.

5. Заключение

Предложенная модель позволяет численно учесть несколько из основных факторов, определяющих специфику развития городских энергетических систем: факторы пространственного распределения энергетических мощностей, факторы пространственного расположения распределительных теплосетей и пространственного распределения спроса, тенденции развития городских программ.

Применение предлагаемой методологии составления тепловой карты системы теплоснабжения города на основе моделей геопространственных данных о теплоэнергетической инфраструктуре и пространственном распределении спроса на тепловую энергию определяет соответствие топологии теплоэнергетической инфраструктуры и пространственное распределение спроса. Работу можно использовать для методологии анализа специфики топологий графов тепловых сетей и определения ключевых характеристик пространственного распределения спроса на тепло в разных городах сопоставимого размера, находящихся в различных природно-климатических условиях.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект № 16-19-10568: «Исследование общих закономерностей и особенностей развития городских энергосистем в различных социально-экономических и природно-климатических условиях».

Список литературы

1. Гашо Е.Г. Энергетическая и климатическая стратегия Москвы: поиск разумного симбиоза. Энергосбережение, №2, 2018. С. 4-10.
2. Гашо Е.Г. Приоритеты устойчивого развития Москвы: энергоэффективность, снижение уязвимости, климатическая адаптация. Доклад на конференции «Экологические проблемы Московского региона». 25.10.2017.
3. Гашо Е.Г., Тихоненко Ю.Ф. Энергосбережение в Москве: от принятия Концепции к системе мер в городской целевой программе. / Энергосбережение, 2008. № 12. С.2-10.
4. Бушуев В.В., Ливинский П.А. Актуализация энергетической стратегии Москвы на период до 2030 года.// Энергетическая политика. 2015. Вып.6.
5. Гужов С.В. Система энергетического менеджмента: внедрение и управление: монография / С.В. Гужов, Б.М. Мельничук, И.В. Петров. М.: Издательство МЭИ, 2018. 236 с.
6. Гашо Е.Г., Гужов С.В., Кролин А.А., Началов А.В. Расчет ущербов электротехнического комплекса московского мегаполиса от опасных климатических изменений. Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018. Вып. 4. С.439-450.

Гашо Евгений Геннадиевич, канд. техн. наук, доцент, 290461@bk.ru, Россия, Москва, НИУ «МЭИ»,

Гужов Сергей Владимирович, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела энергоменеджмента, guzhovsv@yandex.ru, Россия, Москва, НИУ «МЭИ»,

Макрушин Сергей Вячеславович, канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотр., svmakrushin@fa.ru, Россия, Москва, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации

**A STUDY OF THE GENERAL LAWS GOVERNING THE DEVELOPMENT OF URBAN
ENERGY SYSTEMS IN VARIOUS SOCIO-ECONOMIC AND NATURAL CLIMATIC
CONDITIONS**

E.G. Gasho, S.V. Guzhov, S.V. Makrushin

At present, the greatest amount of work is to be done within the framework of improving the quality of information models for heat network designs, which is due to their extremely low quality. In this paper, we consider the procedure for the formation of a complex of geospatial data on the city's system of supplying consumers with thermal energy. The data sources are shown, the methodology of their processing is proposed. On the example of the metropolis of Nizhny Novgorod, the graph of the heat network is formed. Demonstrations of the prospect of using the obtained heat density map for non-industrial premises.

Key words: heat supply system, forecasting, graph, heat map.

Gasho Eugeny Gennadievich, candidate of technical sciences, docent, 290461@bk.ru, Russia, Moscow, NRU "MPEI",

Guzhov Sergey Vladimirovich, candidate of technical sciences, Deputy Head of the Energy Management Department, guzhovsv@yandex.ru, Russia, Moscow, NRU "MPEI",

Makrushin Sergey Vyacheslavovich, candidate physics and mathematics, Leading Researcher, svmakrushin@fa.ru, Russia, Moscow, Financial University under the Government of the Russian Federation