

Метод оценки влияния местоположения потребителей на величину тарифа на покупку тепловой энергии

С.А. Демидова, С.В. Косяков
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация
E-mail: ksv@ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В процессе эволюционного развития населенных территорий происходит развитие сетей теплоснабжения. Затраты на эксплуатацию этих сетей являются одной из составляющих регионального тарифа на покупку тепловой энергии, который ежегодно рассчитывается региональными органами власти на основании анализа всех текущих затрат на генерацию и транспортировку энергии. В связи с активным внедрением ГИС-технологий в сферы муниципального управления формируются условия для создания автоматизированных методов и средств оценки влияния мероприятий по изменению структуры сети на будущий тариф на основе градо-строительной информации и упрощенных методов анализа затрат, рекомендуемых нормативными документами по расчету тарифов. При этом, чтобы оценить влияние комплекса планируемых мероприятий по развитию сети на будущий тариф, в настоящее время необходимо привлекать специалистов по проектированию сетей и использовать сложные методы анализа режимов работы сети.

Материалы и методы: Используются методы расчета регулируемых тарифов и цен на электрическую и тепловую энергию на розничном рынке, методы сетевого анализа и анализа наложений в ГИС, данные из публичных информационных ресурсов по городу Иваново.

Результаты: Предложен и реализован в виде программного модуля метод оценки влияния мероприятий, изменяющих пространственную структуру тепловой сети города, на величину тарифа на покупку тепловой энергии. Метод базируется на анализе распределения затрат между потребителями с учетом маршрута транспортировки теплоносителя по сети. Приведены результаты апробации метода на примере построения карты распределения «выгодных» и «невыгодных» с точки зрения формирования тарифа потребителей в городе Иваново.

Выводы: Полученные результаты подтверждают возможность создания в среде муниципальных ГИС средств автоматической оценки влияния расположения потребителей на величину тарифа на покупку тепловой энергии. Разработанный метод и его реализация могут использоваться разработчиками программного обеспечения при создании информационных систем поддержки принятия решений в органах территориального управления.

Ключевые слова: тепловые сети, геоинформационные системы, пространственная структура сети, расчет тарифа на тепловую энергию, потери в сетях.

A method of evaluating consumer location impact on heat energy transmission tariffs

S.A. Demidova, S.V. Kosyakov
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: ksv@ispu.ru

Abstract

Background: The process of populated areas evolutionary development is accompanied by growth of heat supply networks. The networks operation costs are one of the components of the regional heat energy tariff calculated annually by regional authorities based on the analysis of all current energy generation and transportation costs. Active introduction of GIS technologies in municipal management areas creates the necessary conditions for developing methods and techniques of automatic assessment of the network structure change impact on the future tariff. The article aims at developing methods enabling comparative assessment of consumer contribution to the tariff component based on the town planning information without analysing network operation modes. At the same time, in order to assess the impact of the planned network development activities on the future tariff, it is necessary to involve specialists in network design.

Materials and methods: We used methods of electricity and heat regulated tariff calculation on the retail market, spatial analysis, GIS technologies and data from public information resources of Ivanovo city.

Results: We propose a method for assessing the impact of measures that change the spatial structure of the city's heat supply network on the heat energy tariff. The method is based on the analysis of cost distribution between consumers and takes into account heat carrier transportation routes in the network. The article also presents the results of implementing the software module in the GIS environment, which provides the results in the form of thematic maps of distributing 'profitable' and 'unprofitable' consumers in terms of tariff formation.

Conclusions: The obtained results confirm that it is possible to develop tools of automatic evaluation of consumer location effect on the heat energy tariffs. The developed method and its realization can be used in the decision-making support information system of territorial management bodies.

Key words: heat supply networks, GIS, spatial network structure, calculation of heat energy tariff, losses in the networks.

DOI: 10.17588/2072-2672.2017.4.062-067

Введение. Тепловые сети в городах развиваются эволюционно по мере строительства новых зданий, являющихся потребителями тепла и горячей воды. При этом общие затраты на содержание сети при подключении новых потребителей изменяются в зависимости от расположения этих потребителей. Это объясняется тем, что чем дальше от источника находится подключаемый объект, тем больше будут потери при транспортировке для него теплоносителя по сети и тем больше средств потребуется на ремонт и обслуживание трубопроводов. В то же время платежи за потребленную энергию определяются по единым для региона тарифам и величина доходов, поступающих от потребителя, зависит только от объема потребленной им энергии. Таким образом, в зависимости от местоположения подключаемых и отключаемых потребителей могут улучшаться или ухудшаться экономические показатели эксплуатации сети в целом, а также изменяться тарифы для всех потребителей.

Существуют инженерные методы и специальное программное обеспечение для расчетов тепловых сетей, которые позволяют определять потери на каждом участке трубопроводов. Примеры применения таких расчетов с использованием ГИС приведены в [1, 2]. Однако для использования таких программ требуется собрать большой объем технических данных, создать и отладить электронную модель сети [3]. Эта работа является дорогостоящей и выполняется специалистами. Поэтому такой метод оценки эффективности мероприятий по развитию сети на практике имеет ограниченное применение.

При расчете тарифов на покупку тепловой энергии используют утвержденные правительством РФ методические указания по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке¹, в которых, кроме прочего, учитываются и затраты на возмещение тепловых потерь в сетях. Метод расчета потерь, приведенный в этих методических указаниях, использует минимальный объем доступных из градостроительной документации исходных данных и применяется для расчета тарифов органами региональной власти.

Цель проведенного исследования заключалась в разработке и апробации метода, который позволяет на основе существующей упрощенной методики оценки тепловых потерь при

расчете тарифов и возможностей геоинформационных систем (ГИС) автоматически формировать картину распределения по территории «вклада» потребителей в величину тарифа для существующей и планируемой структуры сети.

Решаемые проблемы и задачи исследования. Развитие технологий энергоснабжения привело к возможности выбора альтернативных схем теплоснабжения зданий в городах (подключение к системам центрального отопления, подключение к местным котельным, строительство индивидуальных систем отопления зданий или квартир и т.д.). При этом развивается конкуренция на местных рынках энергоснабжения, где сталкиваются экономические интересы многих участников процесса энергоснабжения со стороны поставщиков и потребителей энергии. Ввиду сложной системы взаимосвязей различных систем энергоснабжения те или иные мероприятия по изменению структуры различных сетей энергоснабжения могут затрагивать интересы не только непосредственно участвующих в них лиц, но и третьих сторон, ухудшая или улучшая режимы и экономические условия работы сетей в целом. В частности, отдельные решения могут влиять и на единые тарифы на передачу тепловой энергии в городе.

В этих условиях при принятии решений о выборе способа энергоснабжения зданий всем участникам процесса и местным властям важно иметь достоверную и объективную информацию о влиянии решений на будущие тарифы. Однако в настоящее время для получения таких прогнозов приходится проводить специальные исследования и расчеты, которые обычно выполняют поставщики энергии, являющиеся заинтересованной стороной, либо органы власти на условиях государственного или муниципального заказа. Получение достоверных оценок мероприятий по развитию сетей без дополнительных затрат на сбор данных и проведение специальных расчетов в настоящее время является нерешенной проблемой.

Решение указанной проблемы возможно за счет включения в состав существующих муниципальных ГИС дополнительных программных модулей, автоматически формирующих оценки экономических последствий мероприятий и представляющих их в наглядном виде на электронной карте для любой заинтересованной стороны. Однако в настоящее время такие программные средства и методики оценки, которые позволяют их создать, отсутствуют.

¹Приказ ФСТ России от 06.08.2004 N 20-э/2 (ред. от 14.04.2014, с изм. от 16.09.2014) «Об утверждении Методических указаний по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке» (Зарегистрировано в Минюсте России 20.10.2004 N 6076)

Для реализации метода и программных средств, демонстрирующих распределение по территории города экономически «выгодных» и «невыгодных» потребителей с точки зрения потерь тепла в сетях, необходимо решить две задачи:

1. Разработать метод оценки влияния каждого здания на учитываемые в тарифе потери.
2. Разработать метод классификации участков территории города по критерию выгоды размещения на их потребителей тепловой энергии различной мощности, позволяющий наглядно представлять результаты этой классификации на карте.

Первая задача связана с выделением из общей методики расчета регионального тарифа составляющей, определяющей величину затрат на компенсацию потерь тепловой энергии при транспортировке в сети, и с определением способа учета «вклада» каждого здания в суммарные потери, используемые при расчете тарифа. Ограничением в данном случае выступает набор данных, которые могут использоваться для анализа. Предполагается, что данные о конструктивных элементах сети ограничены, а данные о реальном режиме работы сети полностью отсутствуют. Это соответствует ситуации, когда оценка должна даваться не в эксплуатирующей организации, а внешними контролирующими органами или органами территориального управления, как в случае с расчетом тарифа.

Вторая задача относится к методам использования ГИС как систем поддержки принятия решений. Это направление применения ГИС было впервые сформулировано в [4] и нашло в дальнейшем множественное применение в различных областях [5], в том числе и для анализа решения по развитию энергетических сетей с использованием тематических карт [6, 7]. В данном случае речь идет о применении подходов, рассмотренных в [6, 7], в рамках разрабатываемого метода.

Методы исследования. Как следует из указаний [4], тариф на передачу тепловой энергии T (руб/Гкал/ч в мес.) в системах централизованного теплоснабжения определяется как отношение необходимой валовой выручки НВВ (руб.) в расчетный период к объему отпускаемой тепловой энергии в тот же период:

$$T = \frac{НВВ}{P * M}, \quad (1)$$

где P – суммарная тепловая нагрузка по совокупности договоров теплоснабжения потребителей тепловой энергии, заключенных с энергоснабжающей организацией на регулируемый период, тыс. Гкал/ч; M – продолжительность периода регулирования, мес.

НВВ включает, в частности, потери тепловой энергии теплопередачей через теплоизоляционные конструкции трубопроводов и оборудование систем транспорта. Эти потери определяются в [4] по формуле

$$Q = \sum_{i=1}^I q * L_i * \beta, \quad (2)$$

где q – удельные часовые тепловые потери трубопроводов каждого диаметра, определенные пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднегодовые условия функционирования тепловой сети, подающих и обратных трубопроводов подземной прокладки – вместе, надземной – отдельно, ккал/м·ч; L – длина трубопроводов участка тепловой сети подземной прокладки – в двухтрубном исчислении, надземной – в однострубном, м; β – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий потери запорной арматурой, компенсаторами, опорами (принимается 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 – при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки); I – количество участков трубопроводов различного диаметра.

Принимая, что каждый потребитель с номером k ($k = \{1, \dots, K\}$) получает энергию от источника по сети по единственному пути (рис. 1), и зная величину нагрузки каждого потребителя P_k , можно для каждого участка L_i определить суммарную нагрузку и долю этой нагрузки, вносимую каждым потребителем. Эту долю можно рассматривать так же, как долю потерь, которые должны компенсироваться за счет данного потребителя, и как долю длины участка, которая должна обслуживаться за счет этого потребителя.

Таким образом, для участка сети L_2 (рис. 1) потери QL_2 можно распределить между потребителями с нагрузками P_1 и P_2 следующим образом:

$$QL_2 = QL_2^{P_1} + QL_2^{P_2}; \quad (3)$$

$$QL_2^{P_1} = q * \frac{P_1}{P_1 + P_2} * L_2 * \beta; \quad (4)$$

$$QL_2^{P_2} = q * \frac{P_2}{P_1 + P_2} * L_2 * \beta. \quad (5)$$

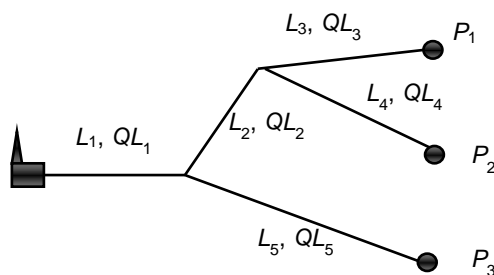


Рис. 1. Схема распределения нагрузки по сети

Если такие расчеты сделать для всех участков сети, то общие потери в сети, учитываемые в тарифе (2), можно распределить между потребителями с учетом структуры участков трубопроводов, которые они используют.

Потери QP_k , относящиеся к потребителю k , вычисляются как

$$QP_k = \sum_{i=1}^I QL_i^{Pk}. \quad (6)$$

Абсолютное значение QP_k не представляет особого интереса для анализа. Более показательным в этом случае является относительное значение, которое отражает сравнение потребителя с другими и может быть определено как коэффициент влияния данного потребителя на тариф R_k :

$$R_k = \frac{QP_k}{QP_{cp}}, \quad (7)$$

$$\text{где } QP_{cp} = \frac{\sum_{k=1}^K QP_k}{K}.$$

Значение показателя $R_k < 1$ означает, что наличие данного потребителя приводит к уменьшению тарифа на передачу тепловой энергии. При значении $R_k > 1$ происходит увеличение тарифа.

Расчет показателя R_k можно производить не только для существующих, но и для потенциальных потребителей. Это можно использовать для прогнозирования влияния принимаемых решений на будущую эффективность эксплуатации тепловой сети в целом и на будущую величину тарифа.

Показатель выгоды потребителя легко определяется через запросы к пространственной базе данных в среде ГИС. При этом для каждого здания в базе данных записывается его значение. Для наглядного отображения этих данных существует несколько способов, в частности:

1. Отображение величины коэффициента размером и цветом значка (например, размер круга отражает отклонение коэффициента от 1, а цвет – направление отклонения).

2. Построение и отображение ценовой поверхности на карте (интерполяция значений R_k , определенных по всей территории).

3. Представление территории в виде полигонального покрытия, например диаграммы Вороного [8], с переносом данных зданий на соответствующие полигоны.

4. Представление территории в виде кадастровой карты земельных участков с переносом данных зданий на соответствующие земельные участки.

Анализ возможностей получения данных и реализации этих методов средствами современных ГИС показал, что любой из них технически не представляет сложности. При этом последний метод более предпочтителен, поскольку связан с градостроительной документацией и системами оценки земли. Это позволяет легко и однозначно сочетать результаты проводимого анализа с другими данными, касающимися строительства и землепользования. Однако по-

лучение данных кадастрового деления может быть связано с дополнительными осложнениями. Кроме того, в связи с заявительным характером процедуры кадастрового учета земли в России, не все земельные участки в настоящее время поставлены на кадастровый учет и отображены на кадастровых картах. С учетом этих факторов для практической реализации метода был использован метод построения тематических карт на основе диаграмм Вороного.

Результаты практического применения метода. Программная реализация разработанного метода анализа выполнена в виде модуля в среде геоинформационной платформы разработки ArcGIS 10.1. Модуль позволяет работать с базой геоданных, которая должна включать следующие классы (слои) объектов:

1. Источники теплоснабжения.
2. Здания и их характеристики.
3. Участки тепловой сети с указанием диаметров и типа прокладки.

Алгоритм анализа заключается в выполнении последовательности следующих операций:

1. Для каждого здания по имеющимся характеристикам в базе геоданных определяется и сохраняется в таблице атрибутов величина нагрузки P_k .

2. Для каждого участка сети средствами сетевого анализа ГИС определяются здания, которые снабжаются через этот участок, определяются передаваемая по нему суммарная нагрузка и доля приписываемых ему на этом участке потерь (по аналогии с примером на рис. 1 и формулами (3)–(5)).

3. Для каждого здания определяется показатель R_k .

4. Строится покрытие территории города в виде диаграммы Вороного (в ArcGIS – полигоны Тиссена).

5. Каждому полигону присваивается значение R_k в качестве атрибута и отображается слой полигонов в виде тематической карты, сопоставив цвета заданным диапазонам значений R_k .

В рамках проведенных экспериментов выполнен анализ распределения по территории коэффициента R_k для системы централизованного теплоснабжения города Иваново. С помощью модуля построена серия тематических карт, показывающих области экономически выгодного размещения потребителей с различной тепловой нагрузкой. Фрагмент этой карты показан на рис. 2.



Рис. 2. Фрагмент карты классификации территории города по распределению затрат на потери в тепловой сети

Тепловые нагрузки зданий определялись по формуле

$$P = q_0 * a * V * (t_1 - t_2), \quad (8)$$

где q – удельная тепловая характеристика здания; a – поправочный коэффициент; V – объем строения; t_1 – температура внутри здания; t_2 – температура снаружи здания.

Поскольку все данные кроме объема V в данной формуле являются известными заранее константами, а для сравнения используется относительная величина нагрузок потребителей, при проведении экспериментов нагрузка каждого потребителя определялась путем деления известной суммарной нагрузки между зданиями пропорционально их объему, который определялся по данным карты через площадь здания и его высоту.

Результаты исследования. Преимущества предложенного метода заключаются в возможности его автоматического использования без участия специалистов. В методе не учитываются технологические режимы работы сети, что может приводить к существенным отличиям результатов расчета потерь от реальных потерь. Однако для учета влияния на тариф этот подход более точен и адекватен, чем расчеты реальных величин потерь, поскольку он полностью соответствует нормативной методике, используемой при расчете тарифа.

Построенная тематическая карта отражает текущее распределение «выгодных» и «невыгодных» с точки зрения формирования тарифа потребителей. При оценке мероприятий по развитию сети карту необходимо перестраивать. В этом случае могут измениться условия не только для вновь присоединяемых объектов, но и для прилегающих к ним потребителей. Так, увеличение нагрузки вблизи «невыгодных» потребителей может перевести их в класс «выгодных», поскольку количество совместно используемых участков сети увеличится, а относительные затраты на каждого потребителя, использующего эти участки, уменьшатся.

Разработанный метод учитывает только одну из составляющих тарифа, зависящую от потерь. Но это единственная составляющая, которая зависит от расположения объектов и имеет пространственную структуру. Другие составляющие рассчитываются без применения ГИС и никак не связаны с пространственной структурой сети. Поэтому они могут учитываться в задачах принятия решений без применения специальных методик, использующих ГИС.

Как уже отмечалось, для интеграции полученных в результате анализа оценок с данными других муниципальных и государственных информационных систем целесообразно использовать в качестве объектов анализа, которым присваиваются оценки, земельные участки. В предложенной реализации для упрощения использовалось покрытие в виде диаграммы Вороного. При этом границы полигонов не связаны с реальными земельными участками, но переход к использованию земельных участков технически не составляет сложности и может быть применен при наличии данных по земельным участкам путем настройки в среде ГИС.

В проведенных экспериментах использовались тепловые нагрузки зданий, которые определялись косвенным путем через объем зданий. В настоящее время при реальном применении метода для существующих зданий можно использовать показания приборов учета отпуска тепловой энергии, которыми по законодательству оборудуются все здания. Это повысит точность оценок, но потребует использования дополнительных источников данных при создании базы геоданных.

Выводы. Сложность задач оценки последствий принимаемых решений по развитию инженерных сетей на территории города в значительной степени определяется множеством пространственных связей между различными объектами на территории. Для учета и анализа этих связей требуется разрабатывать специализированные методы и программные средства анализа в среде ГИС. Предложенный метод и реализованный средствами программной платформы разработки геоинформационных систем ArcGIS 10.1 программный модуль позволяют решать одну из задач получения оценок, которые могут быть использованы для поддержки принятия управленческих решений по развитию территорий в сочетании с другими методами и программными средствами.

Список литературы

1. Говоров В.Л., Легостин С.Г., Луняков А.В. Современный подход к наладке систем централизованного теплоснабжения // ЖКХ: журнал руководителя и главного бухгалтера. – 2011. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.geoinfograd.ru/teplo/E-model-i-Sovremennyj-podhod-k-modernizacii-teplovyh-setej.pdf>

2. **Генварев А.А.** Применение программы «Zulu Thermo 5.2» для наладочных и эксплуатационных теплогидравлических расчетов тепловых сетей г. Иванова // *Новости теплоснабжения*. – 2004. – № 5.

3. **Ескаев А.Р.** Об электронных моделях систем теплоснабжения городов // *Энергосовет*. – 2010. – № 7(12). – С. 22–25.

4. **Carver S.J.** Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems // *International Journal of Geographical Information Science*. – 1991. – № 5. – P. 321–339.

5. **Malczewski J.** Multiple criteria decision analysis and geographic information systems / eds. M. Ehrgott, J. Figueira, S. Greco // *Trends in multiple criteria decision analysis*. – New York: Springer, 2010. – P. 369–395.

6. **Косяков С.В., Пантелеев Е.Р., Садыков А.М.** Построение и публикация в сети Интернет карт зонирования систем энергоснабжения территорий // *Вестник ИГЭУ*. – 2012. – Вып. 5. – С. 59–62.

7. **Косыakov С.В., Садыков А.М.** GIS-based cost distribution analysis of new consumer connections to an urban power grid // *Geo-spatial Information Science*. – 2015. – Vol. 18(4). – P. 183–192.

8. **Препарата Ф., Шеймос М.** Вычислительная геометрия: Введение. – М.: Мир, 1989.

References

1. Govorov, V.L., Legostin, S.G., Lunyakov, A.V. *Sovremennyy podkhod k naladke sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya* [Modern approach to the adjustment of district heating systems]. *ZHKH: zhurnal rukovoditelya i glavnogo bukhgaltera*,

2011, no. 1. Available at: <http://www.geoinfograd.ru/teplo/E-model-i-Sovremennyy-podhod-k-modernizacii-teplovyyh-setej.pdf>

2. Genvarev, A.A. *Primenenie programmy «Zulu Thermo 5.2» dlya naladochnykh i ekspluatatsionnykh teplogidravlicheskiykh raschetov teplovykh setey g. Ivanova* [Application of the program «ZuluThermo 5.2» for commissioning and operational thermal and hydraulic calculations of heat networks in Ivanovo city]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2004, no. 5.

3. Eskaev, A.R. *Ob elektronnykh modelyakh sistem teplosnabzheniya gorodov* [On electronic models of city heat supply systems]. *Energosovet*, 2010, no. 7(12), pp. 22–25.

4. Carver, S.J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 1991, no. 5, p. 321–339.

5. Malczewski, J. Multiple criteria decision analysis and geographic information systems. In M. Ehrgott, J. Figueira, & S. Greco (Eds.), *Trends in multiple criteria decision analysis*. New York, Springer, 2010, pp. 369–395.

6. Kosyakov, S.V. *Postroyeniye i publikatsiya v seti Internet kart zonirovaniya sistem energosnabzheniya territoriy* [Construction and online publication of zoning maps of power supply systems of territories]. *Vestnik IGEU*, 2012, issue 5, pp. 59–62.

7. Kosyakov, S.V., Sadykov, A.M. GIS-based cost distribution analysis of new consumer connections to an urban power grid. *Geo-spatial Information Science*, 2015, vol. 18(4), pp. 183–192.

8. Preparata, F., Sheymos, M. *Vychislitel'naya geometriya: Vvedeniye* [Computational geometry: Introduction]. Moscow, Mir, 1989.

Косяков Сергей Витальевич,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой программного обеспечения компьютерных систем,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, корп. Б, ауд. 307,
телефон (4932) 26-98-40,
e-mail: ksv@ispu.ru

Kosyakov Sergei Vitalyevich,

Ivanovo State Power Engineering University,
Doctor of Engineering Sciences (Postdoctoral Degree), Head of the Computer Software Department,
address: Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34, Building B, Room 307,
telephone (4932) 26-98-40,
e-mail: ksv@ispu.ru

Демидова Светлана Андреевна,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры программного обеспечения компьютерных систем,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, корп. Б, ауд. 307,
телефон(4932) 26-98-40,
e-mail:demidova.sv.a@gmail.com

Demidova Svetlana Andreyevna,

Ivanovo State Power Engineering University,
Post-graduate Student of the Computer Software Department,
address: Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34, Building B, Room 307,
telephone (4932) 26-98-40,
e-mail: demidova.sv.a@gmail.com