

УДК 697.34:004.94-043.61

В.В. Тиунов, Н.А. Лаба, С.В. Куминов, А.М. ЛотоховПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия**СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИНФОРМАЦИОННО-ГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
«ТЕПЛОГРАФ» НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ДОБРЯНКИ,
ПЕРМСКИЙ КРАЙ, РОССИЯ**

Анализ существующих проблем в теплоснабжении городов показал, что большинство из них возникает из-за стихийности развития систем теплоснабжения, практически полного отсутствия актуализированных данных технологических паспортов, а также из-за отсутствия единой системы регистрации дефектов и текущих ремонтов.

Одним из ключевых решений задачи повышения эффективности управления системой теплоснабжения города является разработка единой схемы теплоснабжения на базе современных информационно-аналитических систем, например, на основе программного обеспечения информационно-графической системы (ИГС) «CityCom-ТеплоГраф». В данной статье представлены результаты разработки проекта по созданию на основе этой ИГС интерактивной схемы теплоснабжения города Добрянки, Пермский край, Россия. Материалы имеют не только прикладное, но и информационно-методическое значение и могут быть использованы при создании подобных интерактивных информационных систем для других населенных пунктов.

Выполненное нами компьютерное моделирование процессов в системе теплоснабжения города позволяет с максимальной точностью оценивать параметры текущего функционирования, рассчитывать надежность, рассматривать различные варианты развития системы, а также в короткие сроки эффективно определять оптимальные варианты теплоснабжения потребителей при аварийных ситуациях, что является жизненно важным при низких температурах наружного воздуха в Уральском регионе и в других регионах мира.

Возможность моделировать разные гидравлические режимы в ИГС «CityCom» позволила при разработке перспективной схемы теплоснабжения города подобрать наилучшие по качеству и стоимости реализации решения.

Реализация рекомендованных мероприятий снизила удельные затраты на отпуск тепла и позволила полноценно обеспечить тепловой энергией самых удаленных потребителей без увеличения производительности теплового источника.

Ключевые слова: теплоэнергетика, система теплоснабжения города, интерактивная информационно-аналитическая схема, компьютерное моделирование и управление, надежность, безопасность, локализация и минимизация ущерба.

V.V. Tiunov, N.A. Laba, S.M. Kuminov, A.M. Lotokhov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**HEAT SUPPLY ELECTRONIC MODEL DEVELOPMENT USING
SOFTWARE APPLICATION 'CITYCOM-TEPLOGRAPH'
ON THE EXAMPLE OF DOBRYANKA-TOWN,
PERMSKIY KRAI, RUSSIA**

Analysis of existing challenges in heat supply systems of the cities showed that the most of them appear due to spontaneity of the heat supply systems development, due to almost complete absence of updated data of the process data sheets, and due to absence of an unified recording system for defects and regular maintenance.

One of the key solutions of the objective for enhanced efficiency of a city heat supply system management is the development of a unified heat supply scheme based on up-to-date information-and-analysis systems, for example, based on software application of information graphics system 'CityCom-TeploGraph'. Our article represents some results of the development of on-line heat supply system for the town of Dobryanka, Permkiy Krai, Russia, which could be used as an example for other cities.

A computerized simulation of the processes in the heat supply system of a city allows to estimate parameters of the current operation at the maximum possible accuracy, to calculate reliability, to investigate various options for future potential development of the system and within shortest timeframe to determine efficiently optimum solutions of heat supply of consumers in emergency situations which is extremely vital question in cases of low negative temperatures of the ambient air in the Ural region of Russia and in other parts of the world.

The ability to simulate different hydraulic regimes in the IGS "CityCom" allowed in the development of prospective district heating schemes to find the best in quality and value implement a solution.

Implementation of the recommended measures have reduced the unit cost of heat and allowed to fully provide thermal energy for the most remote consumers without increasing the performance of heat source.

Keywords: heat energetics, heat supply system of a city, heat network, hydraulic simulation, on-line operation, accuracy, reliability, safety, accidents precaution.

Исходная задача проекта и пути ее решения. В проекте была поставлена задача: создать первую интерактивную схему теплоснабжения города Добрянки (объект разработки) на основе программного обеспечения информационно-графической системы «CityCom-Тепло-Граф» [1–2] и провести комплексный анализ теплового хозяйства с целью выработки комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию всей системы теплоснабжения объекта разработки. Решение данной задачи позволяет до минимума снизить издержки по транспортировке тепла от источника до конечного потребителя, рассчитать тепловые потери, проработать различные аварийные режимы и пути минимизации ущерба от внештатных ситуаций (порывов трубопроводов и т.д.) [3].

В ходе проекта мы построили базу данных и разместили в ней результаты паспортизации и диагностики объекта. Это позволило нам провести в дальнейшем всесторонние расчеты и впервые создать полноценную и расширяемую компьютерную модель системы теплоснабжения города Добрянки.

Общая характеристика системы теплоснабжения города:

- численность населения города Добрянки – около 30 тыс. чел.;
- теплоснабжение осуществляет АО «Интер РАО – Электрогенерация» (филиал «Пермская ГРЭС»), установленная мощность 298 Гкал/ч;
- температурный график для прямой и обратной воды: 150/70 °С;
- со срезкой 130/70 °С;
- потребляемая городская мощность (максимальная) 85 Гкал/ч (по данным ресурсоснабжающей организации). Количество центральных тепловых пунктов – 1; индивидуальных тепловых пунктов – около 500. протяженность теплотрасс – 101 км (в двухтрубном представлении).

Исходные материалы для создания информационной системы

Доступные исходные информационные материалы на момент начала реализации данного проекта таковы:

- перечень потребителей с их договорными нагрузками (по данным абонентской службы теплоснабжающего предприятия);
- устаревшие, но в большинстве случаев актуальные данные, предоставленные Бюро технической инвентаризации г. Добрянки, представляющие собой технические паспорта магистральных и квартальных сетей в виде схем с указанием углов поворотов, компенсаторов и длин;
- схемы тепловых камер с указанием действующей запорно-регулирующей арматуры;
- устаревшая коммунальная база г. Добрянки (по состоянию на 1987 г.), которая послужила главным источником геодезических отметок тепловых сетей (принята Балтийская система высот).

Графическое представление городской территории и системы теплоснабжения. Первая проблема, с которой пришлось столкнуться при построении информационной базы данных, – отсутствие актуального электронного плана города с адресным реестром. Также пришлось уточнять и осуществлять привязку к топографической основе схемы прокладки трасс трубопроводов, включая сети квартальной разводки. За основу были взяты имеющиеся копии устаревших планшетов в масштабе М 1:2000. Бумажный материал сканировался по частям

сканером. Полученные растровые фрагменты привязывались по «крестам» к прямоугольной сетке квадратов на общей схеме покрытия, после чего они векторизовались средствами ИГС «CityCom». По этой технологии был создан электронный план, покрывающий почти всю городскую территорию и весьма близкий к действительности.

Перечень новых объектов, которые отсутствовали в созданной модели, оказался настолько мал (около 10 зданий), что было принято решение добавить их вручную, используя средства системы «ТеплоГраф».

Главной проблемой при разработке схемы теплоснабжения города оставалось получение актуализированных данных по фактическому состоянию системы теплоснабжения. В теплосетевой организации был получен план размещения магистральных, разводящих и квартальных трубопроводов в чертёжном формате DWG, выполненный в программной среде AutoCAD. Данный план был успешно интегрирован в систему «ТеплоГраф» и методом наложения привязан к уже созданной модели города. На этом подготовительные работы были завершены.

Следующий этап – создание интерактивной схемы теплоснабжения – заключался в прорисовке в ручном режиме на плане города тепловых сетей и их объектов (фрагмент схемы для примера показан на рис. 1).

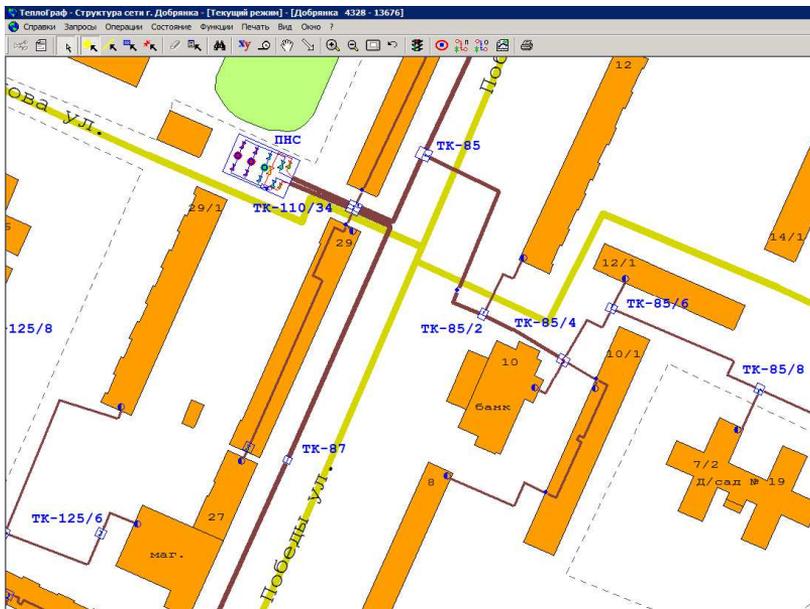


Рис. 1. Фрагмент созданной интерактивной схемы системы теплоснабжения города

Эта работа сопровождалась одновременной паспортизацией и фиксацией в базе данных результатов инженерной диагностики. Наполнение базы данных осуществлялось строго по технологии, предусмотренной в ИГС «CityCom» для математического моделирования тепловых сетей. Таким образом, к моменту завершения паспортизации каждого законченного фрагмента тепловых сетей (от локального источника до конечных абонентских вводов) фактически создавалась его математическая модель для гидравлических расчетов.

Последний штрих в создании модели – ее калибровка, т.е. приведение результатов расчета в соответствие с данными замеров давлений в контрольных точках при определенных условиях.

Данные давления для калибровки системы были взяты из суточных ведомостей, предоставленных теплосетевой организацией. По результатам показаний приборов учета тепловой энергии на коллекторах котельной ГРЭС за 2014 г. произведен анализ отпуска тепла в отопительный и межотопительный период. Фактические данные отпуска тепловой энергии за отопительный период пересчитаны на расчетную температуру наружного воздуха: $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для Уральского региона). Из этого условия определена максимальная тепловая нагрузка на коллекторах теплового источника: $Q_{\max} = 83,7\text{ Гкал/ч}$.

Фактические данные отпуска тепловой энергии за летний период определяют тепловую нагрузку с коллекторов теплового источника на подготовку горячего водоснабжения летом: $Q_{\text{гвс}} = 11\text{ Гкал/ч}$.

Анализ результатов позволил сделать вывод, что фактические данные отпуска тепловой энергии, представленные в графическом виде на рис. 2, показывают отсутствие превышения температуры в обратном трубопроводе (в сравнении с утвержденным температурным графиком и расходом сетевой воды). Отсюда следует, что мероприятия по наладке системы теплоснабжения города в исследованный период времени соответствовали необходимому уровню требований.

Пояснение к рис. 2 «Обоснованное снижение температуры теплоносителя» заключается в обоснованной «срезке» температурного графика теплоносителя при качественном регулировании зависимых систем теплоснабжения. Снижение температуры в подающей магистрали позволяет исключить «перетопы» и снизить потери в тепловых сетях. Возможность подачи теплоносителя с более низкими, чем это требуется по не срезанному температурному графику, температурами

обусловлена тем, что однократный воздухообмен, который учитывается при расчете тепловых потерь зданий, в сильные морозы некомфортен. Поэтому он нигде реально не поддерживается, и тепловая мощность отопительных систем при температурах, близких к расчетным, на самом деле заметно меньше расчетного значения.

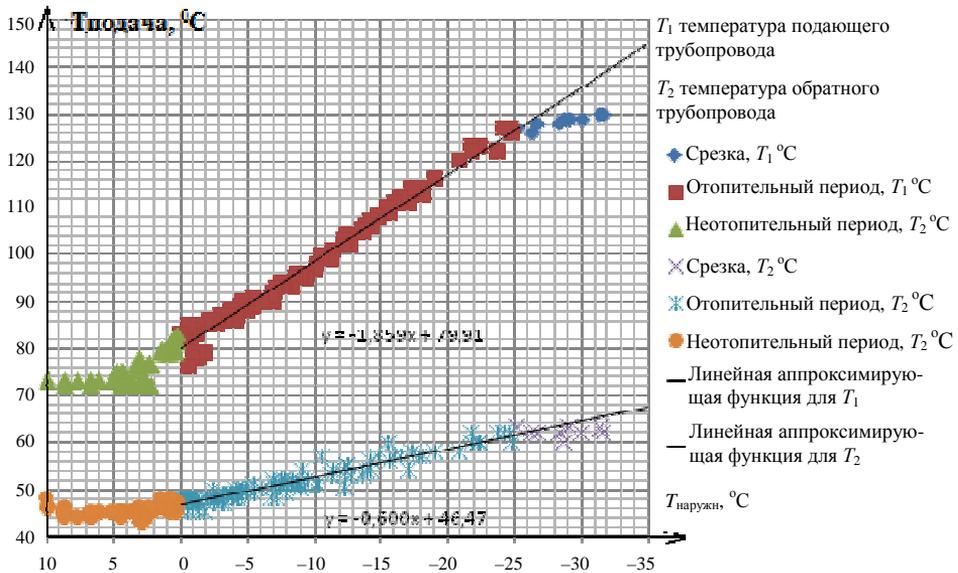


Рис. 2. Фактические данные отпуска тепловой энергии, представленные в графическом виде

Выводы и рекомендации. По результатам паспортизации объектов системы теплоснабжения выполнен гидравлический расчет магистральных тепловых сетей. Расчет показывает неудовлетворительный гидравлический режим по локальным зонам, установленный нормативными требованиями документов [4, 5]:

- располагаемый напор потребителей верхней зоны насосной станции составляет 8–9 м водяного столба, что неустойчиво для нормальной работы элеваторных узлов потребителей;

- минимальное давление в подающем трубопроводе в узлах частного сектора от условной точки (УТ)-11 составляет 26 м водяного столба, что меньше давления вскипания теплоносителя при расчетной температуре;

- максимально возможная температура теплоносителя при расчетном давлении в узле составляет 135 °C, что соответствует заданной срезке температур;

– по результатам описания и гидравлического расчета магистральных тепловых сетей в качестве примеров рекомендаций предлагается в соответствии с проведенными исследованиями и материалами работ [6–8] выполнить капитальный ремонт (на первом этапе возможна экспертиза промышленной безопасности) участков тепловой сети с заменой трубопровода со сроком эксплуатации более 30 лет. Особое внимание следует уделить нерезервируемому магистральному трубопроводу 2Ду500 на выявленном в результате исследований участке от павильона № 3 до условной точки № 65, который эксплуатируется с 1979 г.;

– для обеспечения удовлетворительного располагаемого напора в верхней зоне насосной станции и для невскипания теплоносителя при температуре более 135 °С предлагается увеличить давление в подающем трубопроводе на коллекторе ГРЭС с выполнением наладочных мероприятий потребителей верхней зоны понижающей насосной станции (ПНС);

– для повышения надежности и устойчивости к перегрузкам системы теплоснабжения возможно строительство 3-го подающего трубопровода 1Ду500 на участке от павильона № 3 до условной точки № 65. В этом случае мероприятия по повышению давления на коллекторе теплового источника можно не проводить.

Выводы

Созданная компьютерная модель системы теплоснабжения с базой данных паспортизации, уточненной по результатам инженерной диагностики, позволила достичь целей, поставленных в рамках проекта. При существующей схеме подключения абонентов удалось рассчитать конструктивные параметры наладочных устройств абонентов таким образом, чтобы сбалансировать гидравлические режимы от источников до самых удаленных потребителей, тем самым обеспечив более экономный и энергетически эффективный режим загрузки источника и центрального теплового пункта (ЦТП).

Рекомендации «по локализации аварийности» охватили анализ более 30 различных аварийных режимов и содержали три предложения по установке дополнительной запорной арматуры. Например, было предложено установить дополнительную отсекающую запорную арматуру на одном трубопроводе Ду700 в районе павильона № 0 для перевода теплоснабжения города в летнем режиме на два трубопровода Ду500, что позволяет исключить летние тепловые потери только на одном

подающем трубопроводе Ду700 в размере 1669,3 Гкал в год. Для расчета использовались нормативные документы [9]. *Экономия для транспортирующей организации составит более 1,1 млн рублей в год.*

Закладываемые в базу данных сведения о качестве и состоянии тепловой изоляции, полученные в результате диагностики, в сочетании с гидравлическим моделированием позволили оценить суммарные и приведенные тепловые потери для каждого расчетного режима отпуска и потребления тепла. Этот расчёт является одним из самых важных конечных результатов, так как значения тепловых потерь закладываются в тариф при транспортировке тепловой энергии от источника к конечному потребителю. Мероприятия, направленные на уменьшение тепловых потерь, позволяют существенно снизить затраты при транспортировке тепловой энергии, как указывается в положениях документа [10].

При передаче созданной модели системы теплоснабжения в службы транспортирующей организации последние получили мощный инструмент для решения текущих общепроизводственных и диспетчерских задач. В частности, при оперативном диспетчерском управлении качество принимаемых решений и более высокая степень «аварийной устойчивости» достигаются за счет того, что любую комбинацию действий (включение-выключение насосных агрегатов, плановые и аварийные переключения в камерах, режимные мероприятия и т.п.) можно «проиграть» на компьютерной модели до их реального исполнения. Это дает возможность оценить последствия предполагаемых действий и минимизировать риск ошибок, которые могут привести к аварии.

Выдача технических условий на подключение новых потребителей или изменение договорных нагрузок может быть предварена проверкой реализуемости заявленных требований на математической модели существующей сети. С информацией, содержащейся в системе, можно одновременно работать на произвольном количестве рабочих мест в локальной компьютерной сети предприятия. При этом любые текущие изменения в «контрольной» базе данных сразу становятся доступными для всех заинтересованных служб.

Описанный выше информационный проект реализован практически «с нуля» менее чем за два года. Все этапы проектирования, анализа и расчётов выполнены студентами ПНИПУ. Их работа была номинирована на международном конкурсе «Инновационная энергетика»

в рамках одноименного форума Ассоциации технических вузов России и Китая (АТУРК-ASRTU) на английском языке (29.06-03.07 2015 г., Россия, Пермь, ПНИПУ) и заняла 1-е место по разделу «Менеджмент в энергетике» [11].

Библиографический список

1. Citycom [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.citycom.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
2. Информационная система по теплоснабжению [Электронный ресурс]. – М.: РОСТЕПЛО.RU. – URL: <http://www.rosteplo.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
3. Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Закон Российской Федерации от 08.08.2012 № 808 [Электронный ресурс] // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
4. Свод правил «Тепловые сети», актуализированная редакция СНиП 41-02-2003 [Электронный ресурс] // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
5. Свод правил «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* [Электронный ресурс] // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.
6. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / В.И. Манюк [и др.]. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 140–215.
7. Николаев А.А. Проектирование тепловых сетей: справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1965. – С. 106–206.
8. Водяные тепловые сети: справочное пособие по проектированию / И.В. Беляйкина [и др.]. – М.: Стройатомиздат, 1988. – С. 167–192.
9. О порядке определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя, нормативов удельного расхода топлива при производстве тепловой энергии, нормативов запаса топлива на источниках тепловой энергии (за исключением источников тепловой энергии, функционирующих в режиме комбинированной выработки электрической и тепловой энергии), в том числе в целях государственного регулирования цен (тарифов) в сфере теплоснабжения: Приказ Минэнерго России от 10.08.2012 № 377: ред. от 22.08.2013 [Электронный ресурс] // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

10. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Закон РФ от 23.11.2009 № 261-ФЗ: ред. от 29.12.2014 [Электронный ресурс] // Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс.

11. Создание электронной модели системы теплоснабжения города на базе информационно-графической системы «Теплограф» для города Добрянка, Пермский край, Россия. Конкурсный проект / Д.А. Старцев, В.В. Тиунов, Н.А. Лаба [и др.] // Инновационная энергетика: материалы междунар. межвуз. конф. и конкурс (на англ. яз.); г. Пермь, 30 июня 2015 г. / Ассоциация технических вузов России и Китая. – Пермь, 2015. – С. 95–103.

Reference

1. Citycom, available at: <http://www.citycom.ru> (accessed 25 March 2016).
2. Informatsionnaia sistema po teplosnabzheniiu [Information system in heat supply]. Moscow: ROSTEPLO.RU, available at: <http://www.rosteplo.ru> (accessed 25 March 2016).
3. Ob organizatsii teplosnabzheniia v Rossiiskoi Federatsii i o vnesenii izmenenii v nekotorye akty Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii: Zakon Rossiiskoi Federatsii ot 08.08.2012 № 808 [Heat supply process structure in Russian Federation and modification implementation in several Russian Government Act: Russian Federation Law dated to 08.08.2012 № 808]. Dostup iz spravochno-pravovoi sistemy Konsul'tantPlius.
4. Svod pravil «Teplovye seti», aktualizirovannaia redaktsiia SNIp 41-02-2003 [Set of rules «Heat supply systems», revised edition Construction norms and regulations 41-02-2003]. Dostup iz spravochno-pravovoi sistemy Konsul'tantPlius.
5. Svod pravil «Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniia», aktualizirovannaia redaktsiia SNIp 2.04.02-84* [Set of rules «Water supply. Public utilities», revised edition Construction norms and regulations 2.04.02-84*]. Dostup iz spravochno-pravovoi sistemy Konsul'tantPlius.
6. Maniuk V.I. [et al.]. Naladka i ekspluatatsiia vodianykh teplovykh setei: spravochnik [Water-based heating networks: maintenance and operation: guidebook]. Moscow: Stroizdat, 1988, pp. 140-215.

7. Nikolaev A.A. Proektirovanie teplovykh setei: spravochnik proektirovshchika [Designing the heating networks: guidebook of the project design]. Moscow: Stroiizdat, 1965, pp. 106-206.

8. Beliaikina I.V. [et al.]. Vodianye teplovye seti: spravochnoe posobie po proektirovaniu [Water-based heating networks: guidebook]. Moscow: Stroiatomizdat, 1988, pp. 167-192.

9. O poriadke opredeleniia normativov tekhnologicheskikh poter' pri peredache teplovoi energii, teplonositel'ia, normativov udel'nogo raskhoda topliva pri proizvodstve teplovoi energii, normativov zapasa topliva na istochnikakh teplovoi energii (za iskliucheniem istochnikov teplovoi energii, funktsioniruiushchikh v rezhime kombinirovannoi vyrabotki elektricheskoi i teplovoi energii), v tom chisle v tseliakh gosudarstvennogo regulirovaniia tsen (tarifov) v sfere teplosnabzheniia: Prikaz Minenergo Rossii ot 10.08.2012 № 377: red. ot 22.08.2013 [Procedure for determining the standard process losses for heat energy transmission, coolant, norms of specific consumption of fuel in the production of thermal energy, regulations reserve fuel to sources of heat (with the exception of sources of thermal energy, functioning in the mode of electricity combined production and thermal energy), for the purposes of state regulation of prices (tariffs) in the field of heating: rule of the Russian Ministry dated by 10.08.2012 number 377: Ed. from 08.22.2013]. Dostup iz spravochno-pravovoi sistemy Konsul'tantPlus.

10. Ob energosberezhenii i o povyshenii energeticheskoi effektivnosti, i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii: Zakon RF ot 23.11.2009 № 261-FZ: red. ot 29.12.2014 [Power saving and increasing the power efficiency and making amendment in separate law of Russian federation: Law dated to 23.11.2009 № 261-ФЗ: revised 29.12.2014]. Dostup iz spravochno-pravovoi sistemy Konsul'tantPlus.

11. Startsev D.A., Tiunov V.V., Laba N.A. [et al.]. Sozdanie elektronnoi modeli sistemy teplosnabzheniia goroda na baze informatsionno-graficheskoi sistemy «Teplograf» dlia goroda Dobrianka, Permskii krai, Rossiia. Konkursnyi proekt [Designing the electronic analog model of the city heat supply on the base of information and graphical systems "Thermography" for the Dobranka City, Perm Krai, Russia. Competitive design]. *Materialy mezhdunarodnaia mezhvuzovskaia konferentsiia i konkurs (na angliiskom iazyke) "Innovatsionnaia energetika, Perm, 30 June 2015. Assotsiatsiia tekhnicheskikh vuzov Rossii i Kitaiia*. Perm, 2015, pp. 95-103.

Сведения об авторах

Тиунов Василий Васильевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, профессор кафедры электротехники и электромеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: tiuvas@mail.ru).

Лаба Никита Андреевич (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Laba_Nikita@mail.ru).

Куминов Сергей Михайлович (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kuminov.ser@yandex.ru).

Лотохов Артур Михайлович (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: alt_59@mail.ru).

About the authors

Tiunov Vasilii Vasilevich (Perm, Russian Federation) is a Ph.D. in Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering and Electro-Mechanics Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolskiy pr., e-mail: tiuvas@mail.ru).

Laba Nikita Andreevich (Perm, Russian Federation) is a Student of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolskiy pr., e-mail: Laba_Nikita@mail.ru).

Kuminov Sergey Mikhailovich (Perm, Russian Federation) is a Student of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolskiy pr., e-mail: kuminov.ser@yandex.ru).

Lotokhov Arthur Mikhailovich (Perm, Russian Federation) is a Student of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolskiy pr., e-mail: alt_59@mail.ru).

Получено 14.07.2016