

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.02

Повышение эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения на основе применения информационной системы мониторинга тепловых сетей

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

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящее время для настройки режимов работы тепловых сетей используются хорошо изученные методы и программные средства тепловых и гидравлических расчетов. Одновременно активно развиваются методы и программные средства для централизованного сбора данных приборов учета, которыми оборудуются тепловые пункты потребителей. При этом методы совместной обработки и анализа таких данных в целях повышения эффективности работы сети, улучшения качества оперативного управления процессами отпуска и потребления тепловой энергии остаются мало исследованными и пока не нашли применения на практике.

Материалы и методы: Для расчета оценки эффективности использования энергоресурсов в системе теплоснабжения использованы методы и средства моделирования и анализа бизнес-процессов, аналитической обработки данных, представления данных в ГИС, а также результаты выполнения тепловых и гидравлических расчетов сетей и сбора данных с приборов учета отпуска тепловой энергии.

Результаты: Предложен новый метод оперативного анализа режимов работы тепловой сети, основанный на сравнении показаний приборов учета с результатами моделирования процессов в тепловой сети для оценки эффективности использования топлива и электроэнергии. Рассмотрены структура, функции, процессы сбора и обработки данных. Представлены результаты опытной эксплуатации облачной информационной системы, использующей предложенный метод.

Выводы: Результаты разработки и опытной эксплуатации информационной системы мониторинга тепловых сетей подтвердили возможность и эффективность применения разработанного метода совместного анализа данных моделирования и мониторинга тепловых сетей. Разработанный метод и программные средства могут применяться в составе муниципальных и региональных информационных систем для контроля эффективности расходования энергоресурсов в системах централизованного теплоснабжения.

Ключевые слова: система теплоснабжения, облачная информационная система, мониторинг тепловых сетей, режим работы тепловых сетей.

Improving the efficiency of centralized heating systems operation by using an information system for monitoring heat networks

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

Abstract

Background: Well-studied methods and software for thermal and hydraulic calculations are currently used to adjust the modes of operation of thermal networks. At the same time, scientists are actively developing methods and software for centralized data collection from metering devices installed at consumer heat supply units. However, the methods of joint processing and analysis of such data for improving the network efficiency and the quality of operational management of the processes of supply and consumption of thermal energy remain understudied and have not been used in practice yet.

Materials and methods: The paper uses methods and tools of business process modeling and analysis, analytical data processing, data presentation in GIS, as well as the results of the thermal and hydraulic calculations of networks and data collection from heat energy metering devices to make calculations for the evaluation of energy efficiency of the heat supply system.

Results: We propose a new method of operational analysis of heat network operating modes based on comparing the readings of the metering devices with the results of heat network process modeling for the assessment of fuel and electricity use efficiency. We have considered the structure, functions, and processes of data collection and processing, and presented the results of experimental operation of the cloud information system using the proposed method.

Conclusions: The results of the development and experimental operation of the information system for thermal networks monitoring confirmed the possibility and efficiency of applying the developed method of joint analysis of data of thermal networks modeling and monitoring. The developed method and software can be used as part of municipal and regional information systems for controlling the efficiency of energy consumption in district heating systems.

Key words: heat supply system, cloud information system, monitoring of heat networks, operation mode of heat networks.

DOI: 10.17588/2072-2672.2018.2.057-066

Введение. Задачи развития систем централизованного теплоснабжения и повышения эффективности их использования становятся все более актуальными в России и за рубежом в связи с обострением проблем энергосбережения, экологии городов и выброса парниковых газов. На современном этапе развития информационных технологий эти задачи решаются на основе разработки математических моделей, позволяющих оптимизировать работу сетей, источников и потребителей по различным критериям [1]. В последние годы в этой сфере начинает также применяться концепция умных сетей (Smart Greed), которая предполагает согласованное автоматическое изменение режимов работы источников, потребителей и элементов сети в зависимости от внешних факторов, влияющих на потребление [2]. При этом проблема эффективности использования централизованного теплоснабжения часто рассматривается в различных аспектах и направлениях с учетом взаимосвязей с другими энергетическими системами, включая вопросы энергетических технологий, моделирования, автоматизации, экономики и др.

В России, в соответствии с действующей нормативной базой⁴, эффективность работы теплосетей обеспечивается за счет расчета оптимальных режимов работы сети и наладочных мероприятий по обеспечению этих режимов. При этом для оценки эффективности работы системы теплоснабжения в целом применяются методики, в которых используются некоторые эмпирические или полученные статистически коэффициенты, а также экспертные оценки [3, 4]. Такие методики могут применяться на уровне стратегического планирования, но не позволяют оценивать конкретные текущие ситуации.

В реальной практике эксплуатации систем теплоснабжения наиболее эффективные режимы их работы рассчитываются с помощью специального программного обеспечения, согласовываются, утверждаются и направляются для управления оборудованием на тепловые

источники и в эксплуатационные подразделения [5]. Разработка алгоритмов и программ расчета оптимальных режимов работы тепловых сетей в настоящее время хорошо изучена. Принципы и возможности таких программ приведены, например, в [6]. При этом методы расчетов продолжают развиваться как в России [7], так и за рубежом [8–10]. В настоящее время разработка электронных моделей систем теплоснабжения городов на базе программ тепловых и гидравлических расчетов является обязательным условием их эксплуатации.

Для расчета начислений за услуги и контроля режимов потребления тепловой энергии действующее законодательство обязывает производить установку приборов учета отпущенной тепловой энергии во всех зданиях, подключаемых к сети теплоснабжения. По сложившейся практике данные приборов учета, установленных в тепловых пунктах потребителей, используются инспекторами и специалистами абонентских отделов с периодичностью раз в месяц [5]. Развитие интернет-технологий и средств беспроводной связи позволило автоматизировать процесс сбора этих данных в облачные хранилища данных. Вопросы применения таких систем рассмотрены в [11–13]. Анализ показаний приборов учета в системах мониторинга тепловых сетей позволяет выявлять аварийные ситуации, когда контролируемые параметры выходят за критические пределы, осуществлять поиск утечек теплоносителя в трубопроводах [14] и получать различные оперативные оповещения об изменении режима работы сети.

Несмотря на то, что вопросы выполнения тепловых и гидравлических расчетов систем теплоснабжения и вопросы сбора данных приборов учета по отдельности успешно решаются, проблема их совместного анализа в процессе мониторинга и оценки эффективности режимов работы тепловых сетей остается мало изученной. В публикациях [11, 12] приводятся элементы формализации и постановки данной задачи, а в [15] – пример использования данных приборов учета для настройки (калибровки) расчетной модели тепловой сети. Вместе тем вопросы практической реализации информационных систем мониторинга, одновременно использующих данные моделирова-

⁴ Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: НЦ ЭНАС, 2008. – 264 с.

ния и измерений для анализа текущего режима работы и его экономических показателей, в научной литературе не освещены.

Рассмотрим проблему интеграции мониторинговых и расчетных данных, их жизненный цикл. Проведем сопоставление результатов, полученных в процессе анализа и обработки данных в целях их представления различным категориям лиц, принимающих решения по энергосбережению (ЛПР) в процессе управления работой тепловых сетей и тепловых источников.

Приведем результаты разработки информационной системы (ИС), в составе которой используются доступные на уровне коммерческих программ решения для сбора данных приборов учета и выполнения теплогидравлических расчетов, а также новые методы и программные средства совместной обработки данных мониторинга и расчетов, позволяющие оценивать текущую эффективность работы систем централизованного теплоснабжения.

Методы исследования. В процессе производства, распределения и потребления тепловой энергии может участвовать несколько организаций: поставщики энергии и энергоресурсов, эксплуатирующие организации, управляющие компании ЖКХ, конечные потребители. Кроме того, эти процессы контролируются органами государственной власти и местного управления. Интересы и критерии оценки эффективности работы участников процесса могут различаться, а в ряде случаев противоречат друг другу. Поэтому при создании ИС, обеспечивающей анализ эффективности работы системы теплоснабжения в целом, необходимо учесть организационные аспекты информационного взаимодействия различных организаций, сформировать бизнес-процесс, в котором будут определены функции организаций-участников и наборы данных, которыми они должны обмениваться в процессе работы. Для решения этих задач используются методы и средства анализа и проектирования бизнес-процессов [16].

В рассматриваемых процессах сбора, хранения, обработки и тиражирования данных собирается и используется большое количество различных параметров, поступающих из независимых друг от друга ИС. Эти параметры не согласованы по актуальности, пространственной привязке и единицам измерения. Непосредственно на основе этих данных невозможно сделать выводы об эффективности работы системы теплоснабжения. Поэтому для обеспечения решения поставленных задач необходимо спроектировать и исследовать соответствующие этим задачам архитектуру программного обеспечения, модели и методы обработки данных. Для этого используются методы разработки информационных систем

[17] и, в частности, геоинформационных систем [18].

Очевидно, что при разработке новых методов и средств анализа данных о режимах работы тепловых сетей необходимо использовать существующие методы и программные средства выполнения тепловых и гидравлических расчетов [5–7] и сбора данных мониторинга тепловых сетей [11–13].

Результаты исследования. С учетом того, что задачи автоматизации выполнения наладочных расчетов и сбора данных измерений по отдельности решены, новую ИС, предназначенную для совместной обработки данных расчетов и измерений, целесообразно создавать как некоторую «надстройку» над существующими системами, работающими под управлением двух существующих классов программных продуктов. На рис. 1 приведена общая структура ИС, использующей существующие ИС как источники данных.

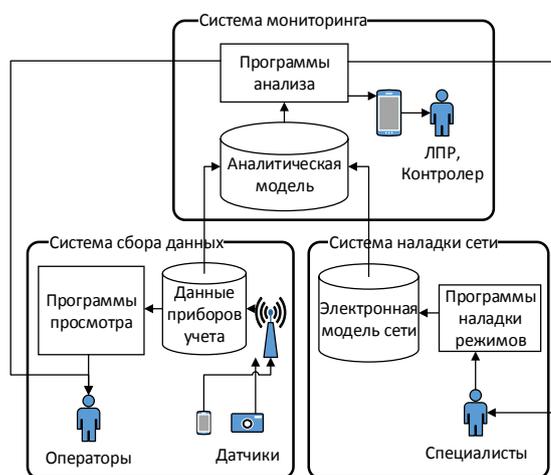


Рис. 1. Структура ИС мониторинга системы теплоснабжения

Существующие ИС сбора данных обычно используют для передачи данных сети GSM сотовых операторов. При автономной работе этих ИС данные о текущих показаниях приборов и отчеты за определенные периоды могут передаваться ЛПР, в качестве которых выступают, например, операторы на источниках теплоснабжения, абонентские службы расчетов с потребителями, владельцы недвижимости. Такие данные позволяют выявлять отдельные аварийные ситуации, критические отклонения режима и другие конкретные факты, определяемые показаниями датчиков. Однако по показаниям приборов невозможно судить об эффективности работы источников и системы теплоснабжения в целом. При различных внешних условиях значения, которые определяют оптимальный режим, будут отличаться, а для оценки эффективности нужно иметь некоторый эталон для сравнения.

Информационные системы для создания электронных моделей тепловых сетей позволяют рассчитать оптимальный режим работы системы теплоснабжения при разных внешних условиях. Это позволяет применять их не только на этапе выполнения мероприятий по настройке сети, но и оперативно формировать эталоны для всех возможных ситуаций и температур внешнего воздуха. Такие расчеты можно выполнить заранее и сохранить результаты в базе данных или использовать программные интерфейсы для подключения модулей расчета в процессе мониторинга. В данной работе для целей расчета использовался программный комплекс ZuluThermo, разработанный компанией Политерм (г. Санкт-Петербург)⁵, который позволяет реализовать оба указанных режима расчетов.

При создании электронных моделей существует проблема определения характеристик элементов системы, необходимых для проведения расчетов, таких как тепловые нагрузки потребителей, удельные тепловые потери трубопроводов и т.п. Эти характеристики в настоящее время определяются по нормативам, но на практике они могут отличаться от нормативных. В результате рассчитанные по модели настройки сети могут оказаться неоптимальными. Кроме того, реальные настройки оборудования сети могут отличаться от расчетных, и эти отличия трудно контролировать. Для этого нужно осуществлять технические проверки непосредственно на оборудовании, установленном в тепловых пунктах потребителей.

Общий принцип работы ИС мониторинга заключается в создании аналитической модели сети, в которой для каждого элемента сети выявляются и сопоставляются данные электронной модели и данные приборов учета. Такое сопоставление открывает возможности для решения двух встречных задач:

1. Выявление на основе анализа реальных характеристик объектов тепловой сети, которые должны использоваться для наладочных расчетов сети (устранение проблем использования электронных моделей).

2. Выявление отклонений реального режима работы тепловой сети от оптимального режима, рассчитанного с помощью электронной модели (задание эталона для анализа режима работы сети),

Таким образом, совместный анализ данных из двух ранее независимых источников помогает придать новое качество каждой из рассматриваемых систем, взаимно дополняя их возможности.

Облачная архитектура ИС является наиболее естественным решением при создании подобных систем сбора данных. Извест-

ные коммерческие системы сбора данных мониторинга также используют эту архитектурную модель. В разработанной ИС электронные модели и данные из системы сбора данных загружаются в общее облачное хранилище и представляются там в виде аналитической модели. Такой подход позволяет устанавливать ИС на серверах любой организации, которая заинтересована в решении проблемы повышения эффективности работы тепловой сети, независимо от мест размещения существующих ИС расчета и сбора данных. В частности это могут быть органы муниципальной или государственной власти, заинтересованные в снижении тарифа на тепловую энергию для населения.

Для успешного внедрения ИС требуется определить регламенты работы ее участников. Укрупненная модель бизнес-процесса использования разработанной ИС при эксплуатации системы теплоснабжения приведена на рис. 2 в нотации языка BPMN⁶.

Основными участниками бизнес-процесса являются:

- ИС сбора данных, которая в режиме реального времени получает и накапливает в своей базе данных показания приборов учета;
- производственно-технические службы эксплуатирующих организаций, осуществляющие расчет режимов работы и наладку тепловой сети с помощью электронных моделей;
- диспетчерские службы источников тепловой энергии (котельных, ТЭЦ), поддерживающие и контролируемые режимы работы источников;
- контролирующие лица, получающие информацию о работе тепловой сети через мобильные приложения;
- ИС мониторинга, осуществляющая сбор данных и отправку сообщений заинтересованным лицам.

Важным отличием указанного процесса от традиционного является появление контролирующих лиц, которые могут удаленно получать агрегированные данные технологического и экономического характера от ИС мониторинга без участия людей-посредников. Для обеспечения данной функции ИС мониторинга реализована в виде активного участника процесса, который по собственной инициативе получает данные приборов учета и формирует сообщения для ЛПР.

⁵ <https://www.politerm.com/>

⁶ <http://www.bpmn.org/>

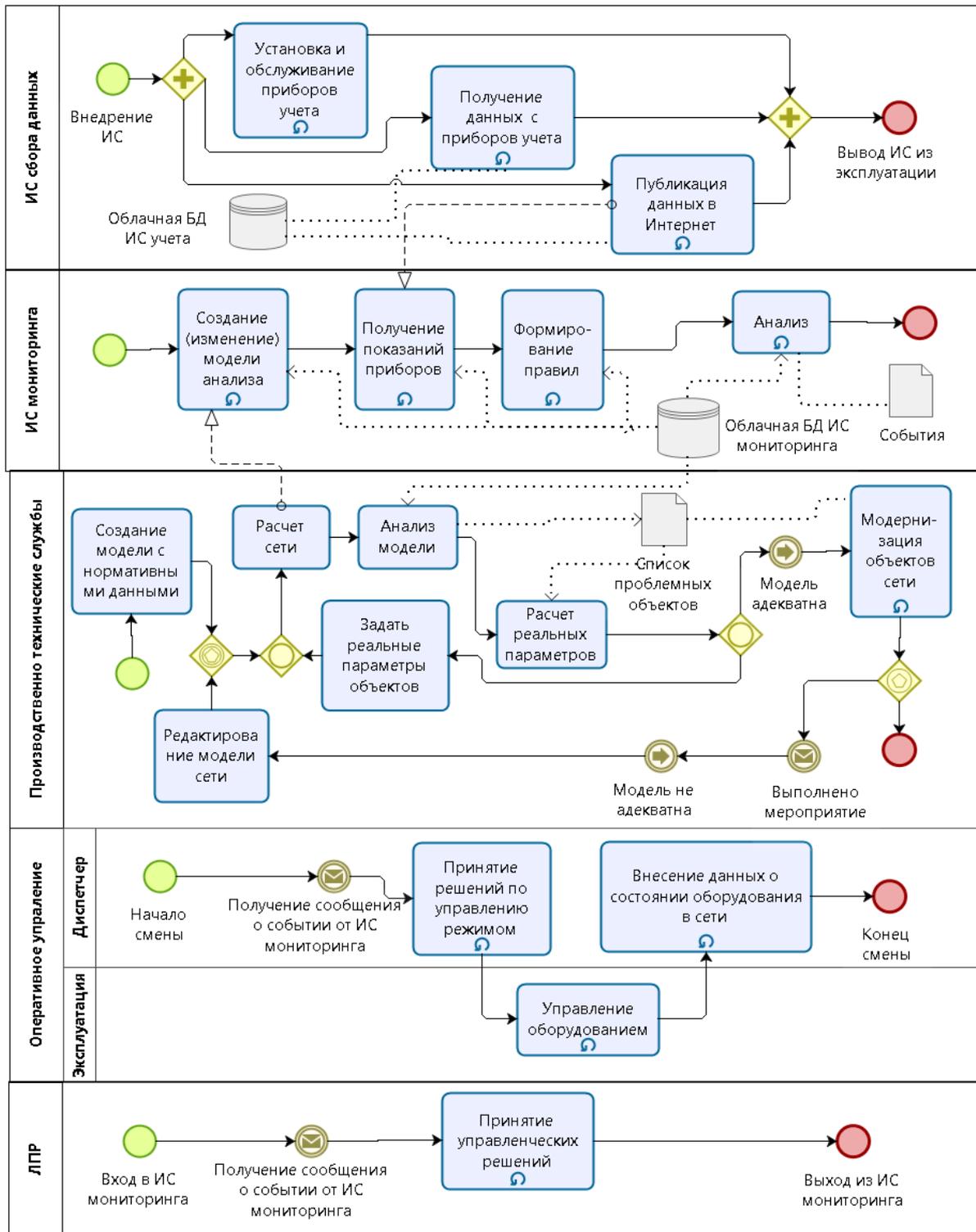


Рис. 2. Схема процесса использования ИС

Еще одним отличием рассматриваемого процесса является появление в деятельности производственно-технических служб функций верификации электронной модели и выявления элементов системы теплоснабжения, в которых потери или потребление отличаются от нормативных значений. Это является основанием для уточнения самой модели и проведения мероприятий по энергосбережению на найденных в процессе анализа объектах.

Для совместной обработки параметров мониторинга и расчетов в ИС используется специальная база данных – аналитическая модель сети. В ней происходит согласование данных, поступающих из двух независимых друг от друга источников. Одной из основных задач при создании аналитической модели является выявление соответствий между элементами баз данных показаний приборов учета и баз данных электронной модели сети. Эти

базы данных содержат величины температуры, давления, расхода теплоносителя и количества теплоты, которые привязаны к различным по своей природе объектам. В одном случае эти параметры привязаны к приборам учета, вычислителям, каналам связи и т.п., в другом – к элементам сети (участкам трубопроводов, источникам и потребителям). Единая система классификации и кодирования объектов тепловых сетей и приборов учета тепловой энергии, позволяющая формально решать данную проблему, отсутствует. Поэтому для решения этой задачи в ИС мониторинга используется специальная процедура связывания параметров.

Для автоматизации процесса связывания используется фасетная система классификации элементов обеих баз данных, позволяющая в значительной степени облегчить и ускорить этот процесс. Классификация производится по следующим параметрам:

- адрес объекта или полученный средствами пространственного анализа ГИС геокод пространственного объекта, к которому относится прибор или элемент тепловой сети;
- направление подачи носителя (прямой, обратный трубопровод);
- тип параметра (температура, давление, расход и количество теплоты).

В тех случаях, когда в фасет попадает по одной записи из каждой базы данных, автоматически формируется кортеж

$$D = \langle e_n, a_i, b_j \rangle,$$

где e_n – элемент множества E всех объектов тепловой сети; a_i – расчетный параметр; b_j – измеряемый параметр, соответствующий a_i .

Если в фасете по любой из позиций кортежа D оказывается более одного элемента, пользователь должен вручную выбрать правильный вариант связей. В результате данного процесса формируется набор пар показателей мониторинга, привязанных к объектам тепловой сети на карте территории.

В идеале для каждого источника и потребителя, представленного на карте точечным объектом, в аналитической модели присутствуют значения следующих величин:

- $t_{пр}$, $t_{п}$ – температура расчетная и температура по приборам в подающем трубопроводе;
- $t_{ор}$, $t_{о}$ – температура расчетная и температура по приборам в обратном трубопроводе;
- $P_{пр}$, $P_{п}$ – давление расчетное и по приборам в подающем трубопроводе;
- $P_{ор}$, $P_{о}$ – давление расчетное и по приборам в обратном трубопроводе;
- $G_{пр}$, $G_{п}$ – объемный расход расчетный и по приборам в подающем трубопроводе;
- $G_{ор}$, $G_{о}$ – объемный расход расчетный и по приборам в обратном трубопроводе;

- $Q_{ор}$, $Q_{о}$ – тепловая энергия отпущенная расчетная и по приборам.

По некоторым объектам отдельные или все показания приборов по каким-либо причинам могут отсутствовать. Это уменьшает возможности анализа и реагирования на некоторые ситуации, но не нарушает функционирование системы в целом.

Расчетные и реальные величины в процессе мониторинга ИС обновляются в разные моменты времени. В разработанной экспериментальной версии ИС обновление показаний приборов происходит с периодичностью один раз в час. Расчетные значения изменяются с учетом изменения внешних условий, например температуры наружного воздуха или заданного диспетчером режима работы тепловой сети, который обычно меняется 2 раза в сутки. Это позволяет проводить анализ с учетом температурного графика. Расчетные значения также могут меняться при выполнении каких-либо переключений, приводящих к изменению топологии сети и, соответственно, оптимального режима ее работы. При этом требуется вносить изменения в электронную модель, что в ряде случаев может приводить к необходимости привлечения специалистов для ее настройки и отключения функций мониторинга на время этой работы.

После каждого обновления наблюдаемых и расчетных параметров (в обычном режиме – раз в час) в ИС автоматически запускается процесс анализа, который включает проверку множества сформированных пользователями или специалистами по представлению знаний правил. Проверка правил осуществляется на основе логики предикатов первого порядка. Каждое правило F представляется составным логическим выражением, включающим атомарные высказывания-предикаты $P_1, P_2 \dots P_k$, например:

$$F = P_1 \text{ and } P_2 \text{ and not } P_3.$$

Предикаты являются N -местными и представляются в виде арифметических выражений, включающих измеряемые параметры $t_{ор}$, $t_{ор}$, $P_{пр}$, $P_{ор}$, $G_{пр}$, $G_{ор}$, $Q_{ор}$, расчетные параметры $t_{ор}$, $t_{ор}$, $P_{пр}$, $P_{ор}$, $G_{пр}$, $G_{ор}$, $Q_{ор}$ и константы целого и вещественного типов. При этом каждый параметр относится к некоторому объекту e_i из множества всех объектов сети E . В качестве примера такого предиката можно привести выражение

$$e_1.Q_{ор} > e_5.Q_{ор} * 2 + e_6.Q_{ор}.$$

Если правило F принимает значение «истина», формируется элементарное событие определенного типа. Тип задает способ отображения события в интерфейсе (вывод в списке, цветом ячейки в таблице, пульсирующим знаком на карте, сигналом тревоги, выдача рекомендации и т.п.). Поскольку каждое

правило и событие привязано к объекту тепловой сети (объекту на карте) или множеству объектов сети или к сети в целом, это дает возможность формировать и просматривать события в привязке к объектам сети. Все события фиксируются в базе данных и доступны для просмотра и анализа пользователям, которым назначены соответствующие права.

Причины и значимость событий могут различаться. При этом для многих ЛПР важно иметь информацию не о временных отклонениях режимных параметров, а о системных проблемах в работе сети. Для этого в ИС реализован менеджер событий, который позволяет агрегировать данные событиях и предоставлять их в виде отчетов и рекомендаций заинтересованным пользователям.

Агрегирование осуществляется либо по времени существования события, либо с помощью встроенных алгоритмов. В первом случае пользователь может для любого объекта в сети установить период или количество повторений одинаковых событий. Во втором – привязать к объекту один из программно-реализованных методов анализа или формирования отчетов и рекомендаций. В менеджере событий также указываются лица, которым будет доступно это событие, и метод их оповещения.

Предложенные методы и решения реализованы в виде экспериментальной версии облачной ИС. Эта ИС проходит опытную эксплуатацию в тепловой сети, которая обслуживается одной из котельных города Иванова. Электронная модель сети разработана в ИГЭУ. Данные приборов учета поставляются в ИС по сети Интернет специализированным предприятием, которое обслуживает по договору тепловые пункты источника и потребителей.

В разработанной ИС реализованы средства для поиска и просмотра экспортируемых расчетных данных, задающих эталонный оптимальный режим работы сети для текущих погодных и эксплуатационных условий, а также данных системы сбора показаний приборов учета, привязанных к тем же объектам сети, что и расчетные данные. Поиск и просмотр данных обеспечивается средствами ГИС.

Новые возможности совместного анализа данных расчета и мониторинга представлены в ИС средствами вывода событий и построения отчетов, которые позволяют вычислять, в частности, показатели экономичности работы сети. Наличие данных по режиму, который рекомендован электронной моделью, позволяет рассчитать расход топлива на источниках и расход электроэнергии на перекачку теплоносителя насосами в случае правильной настройки тепловой сети и поддержания рекомендованного режима работы источников. Использование показаний приборов учета дает возможность рассчитать или получить непосред-

ственно данные по реальному расходу топлива и электроэнергии на источниках. Сравнение этих показателей характеризует качество работы эксплуатирующих организаций и дает оценку потенциально возможной экономии энергоресурсов, которая в настоящее время практически не оценивается.

В процессе опытной эксплуатации подтверждены возможности получения необходимых данных для организации работы системы мониторинга, формирования моделей данных, событий и отчетов. На рис. 3 показан пример отображения события, возникшего при понижении у потребителя давления в обратном трубопроводе более чем на $0,2 \text{ кгс/см}^2$ от расчетного для заданного режима работы котельной. При возникновении этого события на карте возникает пульсирующий знак, указывающий объект, к которому было привязано правило события, а в списке событий приводится описание правила и значения используемых в нем параметров. При указании на знак или строку списка событий открывается дополнительное окно с рекомендациями для персонала обслуживающей организации.

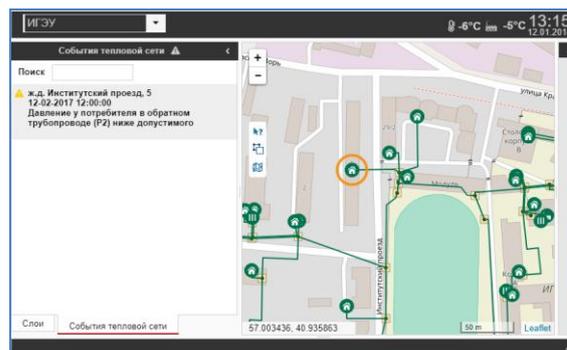


Рис. 3. Пример отображения события

На рис. 4 приведен отчет за 3 месяца эксплуатации информационной системы, в котором дается сопоставление реальных и расчетных затрат на газ и электроэнергию, потребляемую насосами для перекачки теплоносителя в сети. Фактические затраты рассчитаны по данным с приборов учета. Расчетные затраты получены путем сложения суточных данных расчетной модели тепловой сети по заданному температурному графику режима работы системы теплоснабжения.

Результаты сравнения наглядно демонстрируют возможную экономию топлива и электроэнергии в абсолютных и относительных цифрах, которые можно было бы получить в случае точной настройки сети по данным расчета и соблюдения расчетного режима работы котельной.

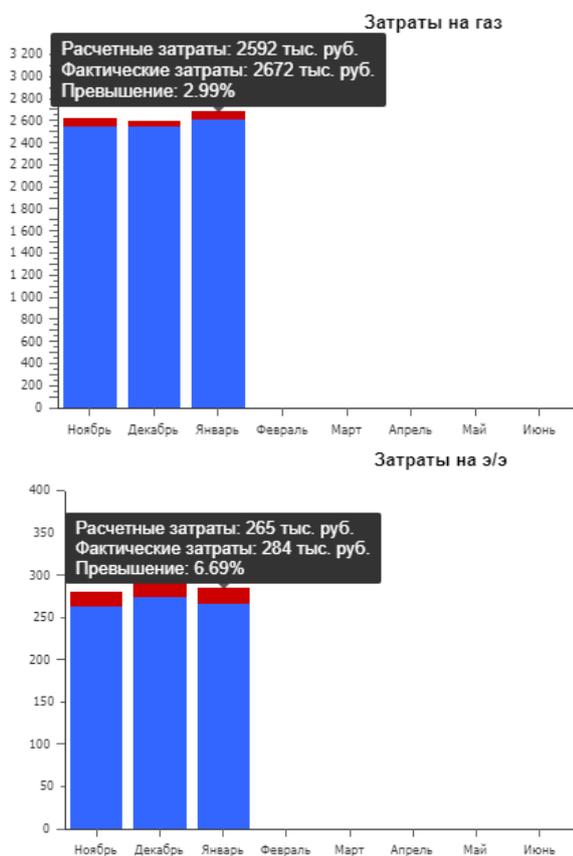


Рис. 4. Затраты на газ и электроэнергию

Выводы. Анализ полученных результатов показывает, что разработанный метод полностью применим для тепловых сетей, которые обслуживаются одной или несколькими котельными. При этом масштаб сети (количество потребителей) не имеет существенного значения. Несколько сложнее выглядит ситуация при использовании метода в крупных тепловых сетях, в которых в качестве источников используются ТЭЦ. Поскольку режим работы ТЭЦ зависит от электрической нагрузки, требуются дополнительные исследования по учету влияния этого фактора на возможность оценки эффективности работы тепловой сети с использованием рассмотренного метода.

В связи со значительным совпадением физических процессов и методов регулирования в тепловых, водопроводных и газовых сетях можно предполагать, что рассмотренные методы и программные средства могут применяться для мониторинга и этих видов сетей. Сам принцип подобного мониторинга универсален и подходит также и для электрических сетей.

Внедрение разработанного метода в практику городского управления можно рассматривать как один из шагов по применению концепции «умных сетей» и «умного города». В нем реализуется принцип непрерывного управления режимом работы сети на основе сбора данных от распределенных по территории города объектов. В перспективе возможно

организовать получение и совместный анализ данных от различных энергетических и коммунальных сетей, что позволит согласовывать и оптимизировать режимы обслуживания потребителей разных сетей с использованием общих критериев и с учетом взаимозаменяемости некоторых видов энергоресурсов.

Результаты опытной эксплуатации разработанной информационной системы мониторинга тепловых сетей продемонстрировали возможность и целесообразность практического применения разработанного метода. Его использование позволяет принимать обоснованные управленческие решения, создает условия для проведения адресных мероприятий в области энергосбережения и способствует формированию обоснованных тарифов на теплоснабжение.

Список литературы

1. **Modelling** and optimising the marginal expansion of an existing district heating network / A. Delangle, R. Lambert, N. Shah, S. Acha, C. Markides // *Energy*. – 2017. – № 140. – P. 209–223.
2. **Smart** District Heating: Distributed Generation Systems' Effects on the Network / M.A. Ancona, L. Branchini, A. De Pascale, F. Melino // *Energy Procedia*. – 2015. – Vol. 75. – P. 1208–1213.
3. **Рачков М.Р., Мельников В.М.** Разработка методики оценки эффективности эксплуатации систем централизованного теплоснабжения малых населенных пунктов // *Вестник ИГЭУ*. – 2017. – Вып. 4. – С. 13–20. doi: 10.17588/2072-2672.2017.4.013-020.
4. **Кольхаева Ю.А., Филюшина К.Э.** Комплексная оценка эффективности функционирования системы теплоснабжения // *Проблемы современной экономики*. – 2012. – № 1. – С. 322–325.
5. **Жуков Д.В.** Оптимизация режимов работы тепловых сетей крупных систем централизованного теплоснабжения // *Новости теплоснабжения*. – 2012. – № 05(141).
6. **Принципы** разработки и программная реализация информационно-вычислительной среды для компьютерного моделирования трубопроводных и гидравлических систем / А.В. Алексеев, Н.Н. Новицкий, В.В. Токарев, З.И. Шалагинова // *Трубопроводные системы энергетики. Методы математического моделирования и оптимизации: сб. науч. тр. / Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН*. – Новосибирск, 2007. – С. 221–229.
7. **Многоуровневое** моделирование теплогидравлических режимов больших систем теплоснабжения / З.И. Шалагинова, Н.Н. Новицкий, В.В. Токарев, О.А. Гребнева // *Материалы конф. «Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление»*, 1–3 сентября 2015 г. – Иркутск, 2015.
8. **Gustafsson J., Delsing J., Van Deventer J.** Improved district heating substation efficiency with a new control strategy. *Appl Energy*. – 2010. – № 87(6). – P. 1996–2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.12.015>.
9. **Fang T., Lahdelma R.** Genetic optimization of multi-plant heat production indistrict heating networks. *Appl Energy*. – 2015. – № 159. – P. 610–619. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.027>.

10. **District** heating network design and analysis / M.A. Ancona, M. Bianchi, L. Branchini, F. Melino // *Energy Procedia*. – 2014. – № 45. – P. 1225–1234.

11. **Мониторинг** и поддержка принятия решений в системе городского теплоснабжения на базе гетерогенной беспроводной сети / А.Г. Финогеев, В.Е. Богатырев, В.А. Маслов, А.А. Финогеев // Известия Волгоградского государственного технического университета. Межвузовский сборник научных статей. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. – Волгоград: Изд-во ВолГТУ, 2011. – Т. 3, № 10. – С. 73–81.

12. **Облачный** мониторинг сети инженерных коммуникаций системы городского теплоснабжения в скользящем режиме / В.С. Мкртчян, А.Г. Финогеев, Е.А. Финогеев, Н.Н. Губанов // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2016. – Т. 3, №1. <http://resources.today/PDF/07RRO116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана.

13. **Ромадов В.** Применение системы дистанционного съема показаний квартирных и домовых приборов водоучета. Контроль качества потребляемых ресурсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.teplocom.msk.ru/data/support/articles/si_2007_1.pdf.

14. **Wang H., Meng H., Zhu T.** New model for onsite heat loss state estimation of general district heating network with hourly measurements // *Energy Conversion and Management*. – 1 February 2018. – Vol. 157. – P. 71–85.

15. **Ескаев А.Р., Старцев Д.А., Гусев О.В.** «Новые песни о старом» или немного про онлайн мониторинг // Новости теплоснабжения. – 2017. – № 10. – С. 38–42.

16. **Репин В.В., Елиферов В.Г.** Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. – М.: Манн, Иванов и Фебер, 2013. – 544 с.

17. **Фаулер М.** Архитектура корпоративных программных приложений: пер. с англ. – М.: Изд. дом Вильямс, 2006. – 544 с.

18. **Батлер Дж. Элисон** Проектирование баз геоданных для транспорта: пер. с англ. – М.: ДАТА+, 2011. – 494 с.

References

1. Delangle, A., Lambert, R., Shah, N., Acha, S., Markides, C. Modeling and optimizing the marginal expansion of an existing district heating network. *Energy*, 2017, no. 140, pp. 209–223.

2. Ancona, M.A., Branchini, L., De Pascale, A., Melino, F. Smart District Heating: Distributed Generation Systems' Effects on the Network. *Energy Procedia*, 2015, vol. 75, pp. 1208–1213.

3. Rachkov, M.R., Melnikov, V.M. Razrabotka metodiki otsenki effektivnosti ekspluatatsii sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya malyykh naselennykh punktov [Development of the method of operational efficiency assessment for centralized heat supply systems in small towns]. *Vestnik IGEU*, 2017, no. 4, pp. 13–20. doi: 10.17588/2072-2672.2017.4.013-020.

4. Kolykhayeva, Yu.A., Filyushina, K.E. Kompleksnaya otsenka effektivnosti funktsionirovaniya sistemy teplosnabzheniya [Integrated estimation of efficiency of heat supply system operation]. *Problemy sovremennoy ekonomiki*, 2012, no. 1, pp. 322–325.

5. Zhukov, D.V. Optimizatsiya rezhimov raboty teplovykh setey krupnykh sistem tsentralizovannogo

teplosnabzheniya [Optimization of operation modes of heating networks of large district heating systems]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2012, no. 05(141).

6. Alekseyev, A.V., Novitsky, N.N., Tokarev, V.V., Shalaginova, Z.I. Printsipy razrabotki i programmaya realizatsiya informatsionno-vychislitel'noy sredy dlya komp'yuternogo modelirovaniya truboprovodnykh i gidravlicheskiykh sistem [Design principles and software implementation of computing environment for the computer simulation of pipeline and hydraulic systems]. *Sbornik nauchnykh trudov «Truboprovodnye sistemy energetiki. Metody matematicheskogo modelirovaniya i optimizatsii»* [A collection of scientific works «Pipeline systems in power industry. Methods of mathematical modeling and optimization»]. Novosibirsk, 2007, pp. 221–229.

7. Shalaginova, Z.I., Novitsky, N.H., Tokarev, V.V., Grebneva, O.A. Mnogourovnevoe modelirovanie teplogidravlicheskiykh rezhimov bol'shiykh sistem teplosnabzheniya [Multi-level modeling of thermal-hydraulic modes of large heat supply systems]. *Materialy konferentsii «Energetika Rossii v XXI veke. Innovatsionnoe razvitiye i upravleniye»* [Proceedings of the conference «Power Industry of Russia in the XXI century. Innovative development and management»]. Irkutsk, 2015.

8. Gustafsson, J., Delsing, J., Van Deventer, J. Improved district heating substation efficiency with a new control strategy. *Appl Energy*, 2010, no. 87(6), pp. 1996–2004. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.12.015>.

9. Fang, T., Lahdelma, R. Genetic optimization of multi-plant heat production in district heating networks. *Appl Energy*, 2015, no. 159, pp. 610–619. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.027>.

10. Ancona, M.A., Bianchi, M., Branchini, L., Melino, F. District heating network design and analysis. *Energy Procedia*, 2014, no. 45, pp. 1225–1234.

11. Finogeyev, A.G., Bogatyrev, V.E., Maslov, V.A., Finogeyev, A.A. Monitoring i podderzhka prinyatiya resheniy v sisteme gorodskogo teplosnabzheniya na baze geterogennoy besprovodnoy seti [Monitoring and decision support in the urban heat supply system based on a heterogeneous wireless network]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Mezhdvuzovskiy sbornik nauchnykh statey. Ser. Aktual'nye problemy upravleniya, vychislitel'noy tekhniki i informatiki v tekhnicheskikh sistemakh*, 2011, vol. 3, no. 10, pp. 73–81.

12. Mkrтчян, V.S., Finogeyev, A.G., Finogeyev, E.A., Gubanov, N.N. Oblachnyy monitoring seti inzhenernykh kommunikatsiy sistemy gorodskogo teplosnabzheniya v skol'zyashchem rezhime [Cloud-based monitoring of a utility network of the municipal heating system in the sliding mode]. *Internet-journal «Waste and resources»*, 2016, vol. 3, no. 1. Available at: <http://resources.today/PDF / 07RRO116.pdf> (free access). Rear. from the screen.

13. Romadov, V. *Primeneniye sistemy distantsionnogo s"ema pokazaniy kvartirnykh i domovykh priborov vodoucheta. Kontrol' kachestva potrebyaemykh resursov* [Application of a system of remote reading of room and house metering devices. Quality control of consumed resources]. Available at: http://www.teplocom.msk.ru/data/support/articles/si_2007_1.pdf.

14. Wang, H., Meng, H., Zhu, T. New model for onsite heat loss state estimation of general district heating network with hourly measurements. *Energy Con-*

version and Management, 1 February 2018, vol. 157, pp. 71–85.

15. Eskayev, A.R., Startsev, D.A., Gusev, O.V. «Novye pesni o starom» ili nemnogo pro onlayn monitoring [«New songs about the old» or a little about online monitoring]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2017, no. 10, pp. 38–42.

16. Repin, V.V., Eliferov, V.G. *Protsessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovanie biznes-protsessa*

[Process approach to management. Business process modeling]. Moscow: Mann, Ivanov i Feber, 2013. 544 p.

17. Fauler, M. *Arkhitektura korporativnykh programnykh prilozheniy* [Architecture of corporate software applications]. Moscow: Izdatel'skiy dom Vil'yams, 2006. 544 p.

18. Batler, Dzh. *Elison Proektirovanie baz geodannykh dlya transporta* [Allison designing of geodatabases for transportation]. Moscow, DATA+, 2011. 494 p.

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, кор. Б, ауд. 307,
телефон +7 (4932) 26-98-40,
e-mail: ksv@ispu.ru

Kosyakov Sergei Vitalyevich,

Ivanovo State Power Engineering University,
Doctor of Engineering Sciences (Post-Doctoral Degree), Head of the Computer Science Department,
address: Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34, Building B, Room 307,
telephone +7 4932 26 98 40,
e-mail: ksv@ispu.ru

Садыков Артур Мунавирович,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. Б, ауд. 220,
телефон +7 (4932) 26-98-40,
e-mail: amsadykov@gmail.com

Sadykov Artur Munavirovich,

Ivanovo State Power Engineering University,
Candidate of Engineering Sciences (PhD), Associate Professor of the Computer Science Department,
address: Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34, Building B, Room 220,
telephone +7 4932 26 98 40,
e-mail: amsadykov@gmail.com

Сенников Владимир Васильевич,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент, директор учебно-научного центра промышленной теплоэнергетики,
адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. Б, ауд. 508,
телефон 8(4932)26-98-86,
e-mail: kbispu@mail.ru

Sennikov Vladimir Vasilyevich,

Ivanovo State Power Engineering University,
Candidate of Engineering Sciences (PhD), Associate Professor, Head of the Research Center of Thermal Power Engineering,
address: Ivanovo, Rabfakovskaya St., 34, Building B, Room 508,
telephone +7 4932 26 98 86,
e-mail: kbispu@mail.ru

Смирнов Владимир Владимирович,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
старший преподаватель кафедры промышленной теплоэнергетики,
телефон (4932) 26-98-86,
e-mail: kbispu@mail.ru

Smirnov Vladimir Vladimirovich,

Ivanovo State Power Engineering University,
Senior Lecturer of Industrial Thermal Power Engineering Department,
telephone (4932) 26-98-86,
e-mail: kbispu@mail.ru