

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.02

Сергей Витальевич Косяков

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения компьютерных систем, Россия, Иваново, e-mail: ksv@ispu.ru

Артур Мунавирович Садыков

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем, Россия, Иваново, e-mail: amsadykov@gmail.com

Владимир Васильевич Сенников

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент, директор учебно-научного центра промышленной теплоэнергетики, Россия, Иваново, e-mail: kbispu@mail.ru

Андрей Ильич Тихонов

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Россия, Иваново, e-mail: aitispu@mail.ru

Метод локализации мест утечек в тепловых сетях на основе анализа данных узлов учета потребителей тепловой энергии¹

Авторское резюме

Состояние вопроса. В настоящее время для организации расчетов за потребленную тепловую энергию активно используются информационные системы сбора данных приборов учета, которыми оборудуются тепловые пункты потребителей. Однако обработка этих данных обычно ограничивается ежемесячным сбором показаний для начислений платежей и процедурами контроля выхода наблюдаемых параметров за установленные границы. Возможности использования этих данных для более глубокого анализа процессов, в частности для выявления мест возникновения утечек теплоносителя, которые могут стать причинами аварий в сети, остаются мало исследованными.

Материалы и методы. Для определения участков утечки теплоносителя совместно использованы методы и средства моделирования и анализа режимов работы тепловых сетей, методы сбора и мониторинга данных узлов учета отпусков тепловой энергии, методы моделирования тепловых сетей в среде геоинформационных систем.

Результаты. Предложен метод определения участков тепловой сети, на которых произошла утечка теплоносителя, отличием которого является использование в процессе анализа только показаний

¹ Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-48-370001 p_a_Ивановская область, договор от 19.01.2021.

The project is carried out with financial support of Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project № 20-48-370001 p_a_ Ivanovo region, dated 19.01.2021.

существующих приборов учета, установленных у потребителей. Рассмотрены ограничения на применение метода и способ его реализации в среде геоинформационной системы. Приведен пример, иллюстрирующий возможность определения места утечки теплоносителя на основе анализа реальных данных узлов учета, собранных в процессе возникновения и устранения утечки. На примере реальной ситуации возникновения утечки на участке тепловой сети котельной ИГЭУ показана возможность практического применения разработанного метода.

Выводы. Полученные результаты подтвердили возможность локализации мест утечек теплоносителя в тепловых сетях на основе анализа показаний приборов учета, установленных у потребителей. Разработанный метод может применяться в информационных системах мониторинга режимов работы тепловых сетей для поиска мест развития аварий.

Ключевые слова: тепловые сети, мониторинг режима работы тепловых сетей, анализ режима работы тепловых сетей, утечка теплоносителя

Sergey Vitalyevich Kosyakov

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Computer Systems Software Department, Russia, Ivanovo, e-mail: ksv@ispu.ru

Artur Munavirovich Sadykov

Ivanovo State Power Engineering University, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Associate Professor of Computer Systems Software Department, Russia, Ivanovo, e-mail: amsadykov@gmail.com

Vladimir Vasilyevich Sennikov

Ivanovo State Power Engineering University, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Associate Professor, Director of Educational and Scientific Center of Industrial Heat Power Engineering, Russia, Ivanovo, e-mail: kbispu@mail.ru

Andrey Ilyich Tikhonov

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Physics Department, Russia, Ivanovo, e-mail: aitispu@mail.ru

Method of detection of district heating pipe network leakage using data monitoring of heat energy consumers

Abstract

Background. Currently, information systems to get data of metering devices are introduced to calculate the consumed thermal energy. The metering devices are installed at the thermal station of the consumers. However, the processing of these data is usually limited to the monthly data collection to calculate the payments and to monitor the output of the observed parameters beyond the established boundaries. The urgent issue is the possibility to use these data for the in-depth study of the processes, and, in particular, to detect district heating pipe network leakage.

Materials and methods. The authors have used both the methods and tools to model and analyze the operating modes of district heating pipe networks, methods to collect and monitor data of heat supply metering devices, methods to model district heating pipe networks in the geoinformation systems environment.

Results. The authors have proposed the method to detect the sections of the heat network where a heat medium leak has occurred. The difference of the method is the use only of the readings of the metering devices installed at consumers. The limitations of the application of the method and its implementation in geoinformation system environment are considered. An example is given to illustrate the possibility to detect the location of leakage based on the analysis of real data of the house heat metering devices collected during leakage and leakage elimination. Practical application of the developed method is discussed by the example of a real situation of leakage at the section of the heat network of the ISPU boiler house.

Conclusions. The results obtained have confirmed the possibility to detect localization of leakage in heating networks based on the analysis of meter readings installed at consumers. The developed method can be applied in information systems to monitor the operating modes of district heating networks to search the places of accidents.

Key words: district heating network, monitoring of operation mode of district heating network, study of operation mode of the district heating network, heat medium leakage

DOI: 10.17588/2072-2672.2021.6.070-078

Введение. В настоящее время для расчета начислений за услуги потребления тепловой энергии действующее законодательство обязывает потребителей, подключенных к сети теплоснабжения, производить установку приборов учета отпущенной тепловой энергии. Как правило, устанавливаемое в узлах учета оборудование обеспечивает измерение температуры, давления и расхода теплоносителя, сохраняя результаты этих измерений в электронном архиве. Данные измерений могут передаваться в облачные системы хранения и часто доступны для анализа. Вопросы применения таких систем рассмотрены в [1, 2]. Однако на практике они обычно используются с периодичностью один раз в месяц для расчета начислений за отпущенную тепловую энергию [3]. Исследования в области методов анализа таких данных в системах мониторинга тепловых сетей [4, 5], в том числе выполненные с участием авторов [6, 7], позволяют выявлять ситуации, когда контролируемые параметры выходят за критические либо экономически обоснованные пределы, и получать различные оперативные оповещения о необходимости изменении режима работы тепловой сети.

Существующие методики и программные комплексы расчета режимов работы тепловых сетей, например ГИС ZULU (<https://www.politerm.com/>), позволяют на основе реальных данных наблюдаемого режима на имеющейся адекватной расчетной модели сети определять потери на участках и при наличии утечек теплоносителя выявлять предполагаемые места утечек. Однако для этого необходимо иметь данные измерений для всех нагрузок и в точках разветвления сети. На практике это сделать фактически невозможно из-за больших финансовых расходов и технической сложности размещения приборов для измерений и передачи данных в тепловых камерах. Ниже предлагается метод, позволяющий осуществлять поиск места утечки теплоносителя в реальных условиях по данным измерений в узлах учета ограниченного множества потребителей.

Развитие аварий в тепловых сетях, как правило, начинается с незначительных нарушений герметичности трубопроводов, которые проявляются в виде утечек теплоносителя. Факты возникновения утечек легко определяются на источниках, поскольку они приводят к увеличению расхода воды

на подпитку. При этом определение места утечки часто превращается в сложную проблему, решение которой может потребовать много времени.

Утечки теплоносителя могут появляться в системе отопления внутри зданий либо за их пределами на участках тепловой сети. В первом случае их можно обнаружить по показаниям приборов в узлах учета здания. В случае, когда утечки возникают на участках трубопроводов, проложенных под землей, определить место утечки даже приблизительно бывает крайне сложно. При этом сеть часто продолжает эксплуатироваться в предаварийном режиме до тех пор, пока не произойдет серьезная авария с провалом грунта, фонтанированием горячей воды или другими видимыми последствиями утечки. Очевидно, что локализация мест утечек при подземной прокладке трубопроводов на ранних стадиях развития аварийных ситуаций процессов является актуальной задачей для служб эксплуатации тепловых сетей.

Непосредственное наблюдение за измеряемыми параметрами температуры, давления и расходов теплоносителя в узлах учета не позволяет делать выводы по определению места утечки в тепловой сети. Эти параметры непрерывно изменяются под воздействием множества факторов, которые невозможно предвидеть, включая погоду, поведение потребителей, регулирование и т.д.

В результате исследований в области расчета и анализа режимов работы тепловых сетей [8, 9] определен ряд расчетных безразмерных параметров (коэффициентов), которые в установившихся режимах для участков трубопроводов и потребителей остаются постоянными и не зависят от режима отпуска тепла на источнике. Эти коэффициенты, согласно теории, могут изменяться при изменении физических характеристик трубопроводов и потребителей либо при возникновении переходных процессов в системе. Это позволяет выдвинуть гипотезу о том, что при возникновении утечки расчетные коэффициенты, которые можно вычислить через наблюдаемые параметры температуры, давления и расхода, будут изменяться сильнее на участках и у потребителей, расположенных по схеме сети после места утечки. Задачей практического исследования является определение состава, характера и величин измене-

ния этих коэффициентов, а также возможности использования этих изменений для выявления места утечки.

Практическое применение данного подхода связано с рядом проблем:

1. В теории расчетов тепловых сетей рассматриваются установившиеся режимы работы сети и постоянные нагрузки. На практике нагрузки меняются в результате действий потребителей, вмешательства в работу оборудования, изменения внешних условий и т.д. В связи с этим реальный режим работы сети в действительности постоянно изменяется и выделить единственную причину изменения режима не всегда возможно.

2. Количество точек измерения параметров режима в реальных условиях ограничено, что приводит к необходимости объединять разные по характеристикам участки сети в некоторые условные составные участки, усредняя их характеристики. Это может отражаться на точности моделирования режима работы сети.

3. Объекты тепловой сети имеют разную инерционность. Измерения их параметров производятся с разной периодичностью. При этом в расчетах приходится использовать усредненные данные. Способы усреднения данных тоже могут оказывать влияние на точность результатов анализа.

4. Возможности изучения динамики характеристик систем теплоснабжения в процессе развития утечек на практике довольно ограничены, поскольку такого рода ситуации случаются редко. При этом получить данные приборов, установленных на источниках и у потребителей, бывает сложно, поскольку они часто находятся в разной ведомственной принадлежности.

В этих условиях важную роль приобретают экспериментальные исследования, позволяющие на практике проверить выдвинутые гипотезы, даже если это касается отдельных случаев. Целью нашего исследования является разработка и практическая проверка возможности применения на практике метода, который позволяет локализовать место утечки с точностью до интервала участка трубопровода между имеющимися узлами учета.

Методы исследования. В основе предложенного метода лежит использование рассмотренных в [8, 9] параметров: расходной характеристики участка трубопровода B и тепловой характеристики здания $kF_{зд}$. Значения расходных характери-

стик участков трубопроводов и зданий зависят от параметров настройки тепловой сети, теплофизических свойств изоляции трубопроводов и величин нагрузки зданий. Они различаются в различных объектах сети, но при установившемся режиме эксплуатации системы теплоснабжения значения этих характеристик остаются постоянными при регулировании режима изменением температуры теплоносителя. Данные характеристики начинают изменяться на участках и в зданиях, где происходит изменение распределения потоков теплоносителя. Это дает возможность применить их для решения поставленной задачи.

Параметр $B_{уч}$ для участка, расположенного между узловыми точками сети 1 и 2, может быть рассчитан через значения измеряемых в этих точках температур по формуле

$$B_{уч}^{1-2} = \frac{t_1^1 - t_1^2}{\frac{t_1^1 + t_1^2}{2} - t_H}, \quad (1)$$

где t_1^1, t_1^2 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе в узлах сети 1 и 2 соответственно, °С; t_H – фактическая (текущая) температура наружного воздуха (среднесуточного), °С.

При двухтрубной закрытой системе теплоснабжения параметр $B_{уч}$ имеет, как показывает обработка опытных данных, постоянное значение. Так как наличие утечки теплоносителя влияет одновременно на изменение температуры как прямого, так и обратного трубопроводов, оказывается достаточным использовать параметр $B_{уч}$ только прямого трубопровода.

Параметр $kF_{зд}$ может быть рассчитан по формуле

$$kF_{зд} = \frac{Q_0^{\max}}{\frac{t_1 + t_2}{2} - t_H}, \quad (2)$$

где Q_0^{\max} – максимальная отопительная нагрузка, Гкал/ч; t_1 и t_2 – расчетные температуры теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе, °С; t_H – расчетная температура наружного воздуха, °С.

Согласно (1)–(2), для определения $B_{уч}$ необходимо знать результаты измерения температур в начале и конце каждого участка тепловой сети, ограниченного тепловыми камерами. Однако, как уже отмечалось, в существующей практике это сделать нереально. Для выхода из этой

ситуации предложено осуществлять мониторинг не отдельных участков, а путей на графе, расположенных между имеющимися узлами учета. Для этого всю тепловую сеть следует «покрыть» контрольными путями для мониторинга. При этом контрольные пути должны выбираться таким образом, чтобы на них возникал перепад температур и имелась возможность определения наблюдаемых расчетных коэффициентов по формулам (1) и (2).

На рис. 1 приведен фрагмент схемы тепловой сети, который демонстрирует выбор контрольных путей для мониторинга утечек. Фрагмент включает два участка магистральной сети между тепловыми камерами ТК1, ТК2 и ТК3, а также 6 потребителей П1–П6, которые подключены к тепловым камерам участками распределительной сети. Если все потребители имеют узлы учета, на которых производится контроль температуры, то по данной схеме можно составить два пути мониторинга: П1–ТК1–ТК2–П2 и П2–ТК2–ТК3–П3. Это позволит контролировать все участки магистральной сети. В качестве такого пути не может быть выбран, например, участок графа П3–ТК3–П4, так как на нем падения температур на участках сети будут незначительными и разнонаправленными, что приведет к неустойчивости вычислений.

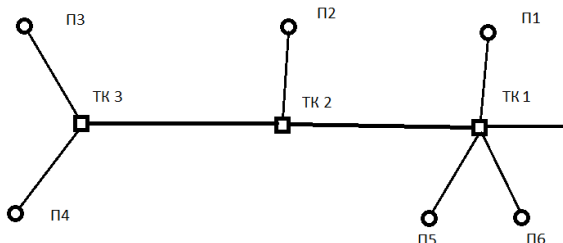


Рис. 1. Фрагмент схемы тепловой сети для определения расчетных участков

Выбирая контрольные пути на графе, можно разделить его таким образом, чтобы локализовать область утечки с точностью до заданных путей. Понятно, что точность локализации места утечки будет зависеть от наличия приборов учета и конфигурации самой сети. В конфигурации сети могут встречаться камеры, к которым не подключены потребители. Могут быть потребители, у которых отсутствует узел учета. В этих случаях пути могут оказаться довольно длинными. Для слишком коротких путей температур в начальной и конечной точках будут мало отличаться друг от друга, что может привести к ошибкам при вычислении

ях. Поэтому выбор цепочек для мониторинга является творческой задачей, которая поручается человеку и производится в среде ГИС в составе информационной системы мониторинга системы теплоснабжения.

В результате рассмотренного перехода от участков графа к контрольным путям при наблюдении вместо $V_{уч}$ будут использоваться расходные характеристики этих путей $V_{п}$. Расчет $V_{п}$ осуществляется по формуле (1), но в качестве точек 1 и 2 берутся узлы учета зданий начала и конца пути. Для них также вычисляется $kF_{зд д}$. Исходя из положений теории расчетов тепловых сетей, при наличии утечки на контрольном пути должен измениться его $V_{п}$. При этом $kF_{зд}$ здания в начале пути (до утечки) не изменится, а для здания в конце пути (после утечки) изменится. При этом должны измениться $V_{п}$ и $kF_{зд}$, которые находятся за местом утечки.

С учетом сделанных предположений метод определения места утечки включает следующие шаги:

1. Создание модели (графа) тепловой сети в информационной системе мониторинга и обеспечения сбора данных с приборов учета на источнике и у потребителей.
2. Выбор контрольных путей для мониторинга.
3. Выполнение функций мониторинга (периодическое измерение) наличия утечки в сети по увеличению подпитки в источнике, а также показателей $V_{п}$ и $kF_{зд}$ для всех контрольных путей. Расчет среднего наблюдаемого значения этих показателей.
4. При определении факта утечки расчет величины отклонения показателей $V_{п}$ и $kF_{зд}$ от их среднего значения для всех зданий и контрольных путей. Проведение анализа величины отклонений $V_{п}$ на контрольных путях и отклонений $kF_{зд}$ в начале и конце каждого пути. Определение контрольного пути, на котором произошла утечка теплоносителя.

Экспериментальное исследование разработанного метода. Предложенный метод разработан на основании теоретических моделей, которые справедливы для установившихся режимов работы сети и постоянных нагрузок. В реальных условиях $V_{п}$ и $kF_{зд}$ постоянно изменяются вследствие изменения нагрузок и неточности измерения температур и при отсутствии утечек. Величина изменения этих показателей при наличии утечек тоже зависит от множества фак-

торов. В связи с этим одной из задач является определение порогов изменения B_n и $kF_{зд}$, которые следует считать значимыми при определении мест утечек.

Для решения задач экспериментального исследования предложенного метода использованы информационная система дистанционного мониторинга режима работы тепловой сети ИГЭУ [6, 7] и полученные в ней данные наблюдений при возникновении и устранении реальной утечки. Для этого были использованы данные архивов оперативных журналов котельной ИГЭУ за зимние месяцы 2018–2019 гг.

Фрагмент сети с местом обнаруженной утечки и тремя потребителями, в которых осуществляется контроль параметров, приведен на рис. 2.

Оперативной службой главного механика ИГЭУ в оперативном журнале зафиксированы аварии на тепловых сетях в виде утечек. Эти утечки были найдены на участке между камерами ТК16 и ТК17 (рис. 2) и оперативно устранены. В рассматриваемой части тепловой сети узлами учета оборудованы выделенные на рис. 2 здания с адресами:

- 1) котельная ИГЭУ;
- 2) Институтский проезд, д. 5 (здание 1);
- 3) ул. Лебедева Кумача, д. 2 (здание 2);
- 4) ул. Серафимовича, д. 1 (здание 3).

С учетом этого можно выделить три контрольных пути на схеме сети:

- 1) котельная ИГЭУ – Институтский проезд, д. 5 – путь 1 (до места утечки);
- 2) Институтский проезд, д. 5 – ул. Лебедева Кумача, д. 2 – путь 2 (с местом утечки);

3) ул. Серафимовича, д. 1 – ул. Лебедева Кумача, д. 2 – путь 3 (за местом утечки).

На рис. 3 приведены графики изменения расчетных показателей B_n и $kF_{зд}$ для указанных путей и зданий. Резкое увеличение подпитки на котельной с 2,42 до 15,59 м³ зафиксировано 24.01.2019. Оно сохранялось на высоком уровне до окончания устранения утечки 30.01.2019. На рис. 3 этот период выделен серым цветом. Визуально на местности утечки были обнаружены персоналом 28.01.19 на участке тепловой сети между ТК-16 и ТК-17, который входит в контрольный путь 2.

Анализ графиков (рис. 3) показывает, что наблюдаемые показатели постоянно колеблются относительно средних величин. В безаварийный период времени значения анализируемых параметров колеблются с амплитудой около 10 %. Имеющиеся более резкие колебания, как показал детальный анализ данных, связаны с действиями персонала котельной (отклонение от температурного графика регулирования) и манипуляциями с настройкой оборудования в узле учета потребителя Институтский проезд, д. 5. При этом в процессе аварии (утечки) наблюдаются отклонения, превышающие 20 % от среднего значения. Это дает основание установить уровень отклонения параметров в 15 % как порог, превышение которого может свидетельствовать о существенном нарушении режима. Этот уровень показан на графиках пунктирной линией.

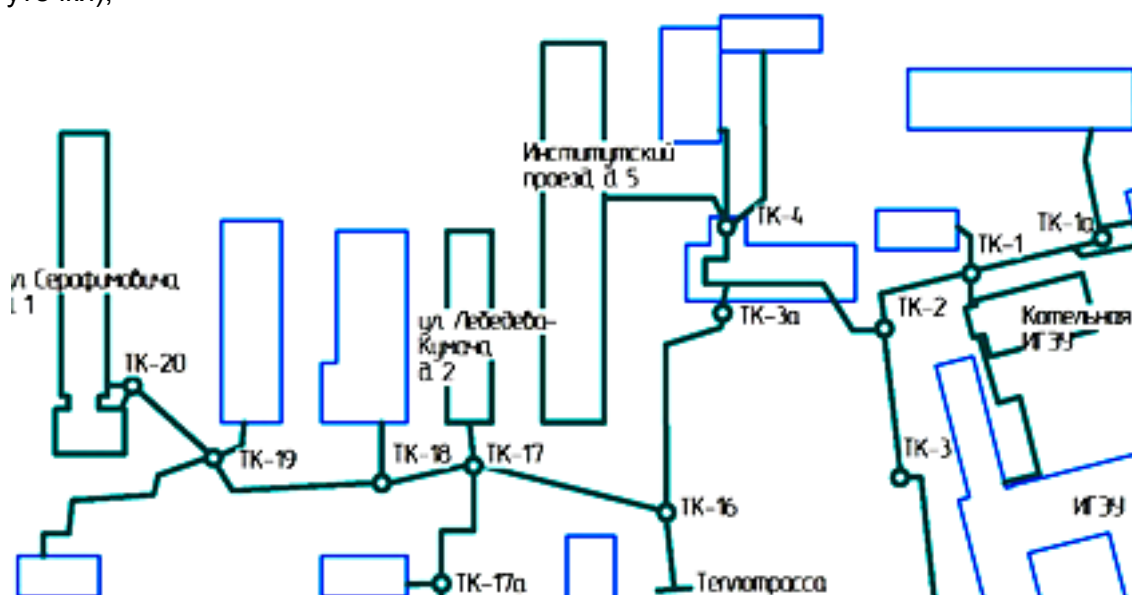


Рис. 2. Фрагмент схемы тепловой сети котельной ИГЭУ

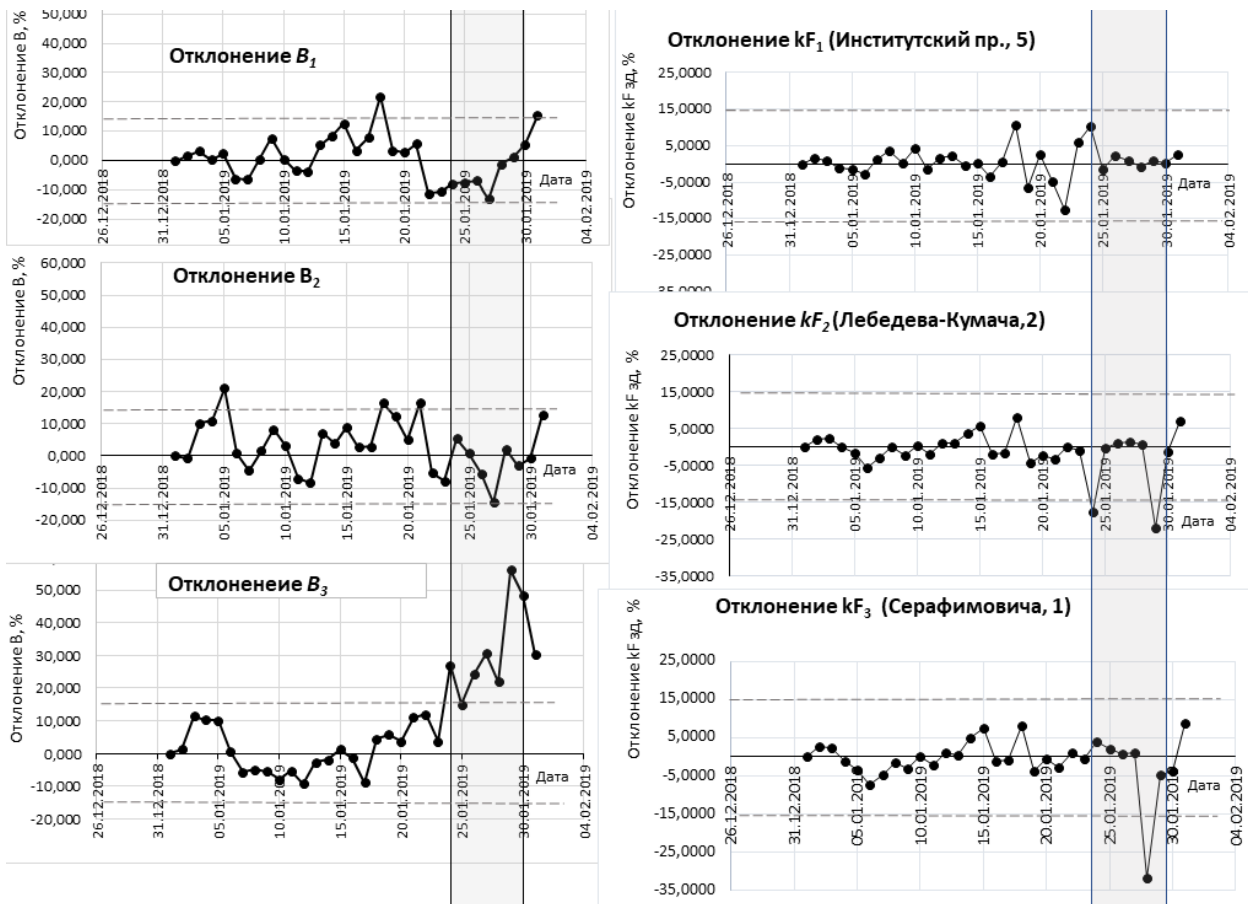


Рис. 3. Изменение значений B_n и $kF_{зд}$ на объектах тепловой сети

Анализ приведенных графиков (рис. 3) также показывает, что в момент резкого увеличения подпитки 24.06.2019 произошел выход за установленный предел показателя kF_2 в здании, которое расположено в конце участка с утечкой, и показателя B_3 пути, который следует за путем с утечкой.

В целом эти результаты подтверждают выдвинутую гипотезу, хотя, согласно теоретическим разработкам, B_2 тоже должен был измениться. Причиной того, что этого не произошло, является, видимо, сложная схема сети на этом участке. На нем имеются ответвления на других потребителей. При этом утечка произошла в конце участка после этих ответвлений, что могло сгладить эффект изменения B_2 . Несмотря на это, по совокупности наблюдаемых фактов можно сделать вывод, что утечка отсутствует на участке 1 и находится на участке до здания 2, что соответствует действительности. Если бы на момент аварии в системе мониторинга теплосети ИГЭУ был реализован предложенный метод, эта си-

стема смогла бы выдать правильную рекомендацию по поиску места утечки.

Еще одним подтверждением справедливости выдвинутой гипотезы являются наблюдаемые на графиках значительные скачки анализируемых характеристик 29.06.19, когда происходила ликвидация аварии и участок с утечкой был на время отключен. В этот день скачки наблюдаются на участках и в зданиях, расположенных за местом отключения. При этом на самом аварийном пути также не наблюдается значительных отклонений B_2 , что может служить подтверждением того, что причина этого явления связана не с предложенным методом, а, вероятно, с малым количеством точек измерений и невозможностью покрыть эту часть сети более адекватными контрольными путями.

Выводы. Реальные режимы работы тепловых сетей практически постоянно изменяются вследствие множества факторов, в частности при изменении температуры внешнего воздуха, что приводит к постоянному изменению многих наблюдаемых параметров во всех точках сети. В

этих условиях делать какие-либо выводы о причинах и последствиях таких изменений крайне сложно, за исключением очевидных ситуаций с отключениями, отказами оборудования и т.п.

Новизна предложенного метода заключается в использовании данных мониторинга для решения задачи поиска утечек, которая в настоящее время не имеет формализованного метода решения, применимого на практике.

Проведенный анализ ситуации поиска и ликвидации утечки, которые дали аналогичные результаты, показал, что во всех случаях наблюдался значительный выход изменения коэффициента за границы допустимого интервала. Эти результаты хорошо согласуются с положениями теории расчетов режимов работы тепловых сетей и подтверждают сделанные предположения о возможности использования данных мониторинга показаний приборов узлов учета потребителей для выявления аварийных участков тепловых сетей. При этом экспериментально подтверждено, что наличие утечки приводит к отклонению коэффициентов, рассчитанных для путей на графе сети, включающих несколько расчетных участков, от среднего значения более чем на 15 %.

Вместе с тем в процессе исследования выявлен ряд ограничений метода. Точность и надежность работы метода зависят от конфигурации сети, количества потребителей, оборудованных узлами учета, и их взаимного расположения в сети. Очевидно, что чем таких узлов больше и чем более радиальной является структура сети, тем лучше будет проявляться эффект локализации аварий. Цепочки должны быть максимально короткими по числу входящих в них участков. Особенно хорошо метод должен работать на длинных радиальных ветках с выраженной магистралью и короткими ответвлениями к потребителям.

Метод может оказаться трудно применимым при наличии колец и множественных разветвлений, вблизи которых нет потребителей. В этих случаях цепочки становятся длинными и эффект изменения коэффициента будет «размазанным» по сети. При недостаточном количестве узлов учета и сложной схеме сети могут возникать участки графа сети, которые не удается покрыть контрольными путями так, что-

бы применение метода дало однозначные результаты.

В связи с тем, что при проведении исследования был доступен только архив суточных данных, в котором результаты измерений, проводимых каждый час, усреднены по суткам, такое усреднение не позволяет зафиксировать существенные отклонения анализируемых характеристик в случае, когда эти отклонения существуют в течение коротких промежутков времени. Использование почасовых измерений может существенно улучшить качество работы метода, но это потребует проведения дополнительных исследований.

Полученные результаты исследования позволяют сделать вывод, что, несмотря на отмеченные ограничения метода, его применение позволяет как минимум существенно сузить область поиска места утечки. Учитывая то, что метод может быть использован только для выдачи рекомендаций персоналу, а не как часть системы управления, его применение будет полезным. Дальнейшее развитие метода требует изучения новых конкретных ситуаций, информацию о которых, в свою очередь, можно получить в процессе практического применения информационных систем, включающих реализацию метода.

Результаты разработки опытного образца информационной системы мониторинга тепловых сетей, использующего предложенный метод, реализованный в виде программного модуля в составе опытной версии информационной системы мониторинга тепловой сети ИГЭУ [6], продемонстрировали возможность его практического применения.

Внедрение разработанного метода, реализующего принцип непрерывного управления режимом работы сети на основе сбора данных от распределенных по территории города объектов, в практику городского управления можно рассматривать как элемент концепции «умных сетей» и «умного города».

Список литературы

1. **Облачный** мониторинг сети инженерных коммуникаций системы городского теплоснабжения в скользящем режиме [Электронный ресурс] / В.С. Мкртчян, А.Г. Финогеев, Е.А. Финогеев, Н.Н. Губанов // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». – 2016. – Т. 3, № 1. – Режим доступа:

<http://resources.today/PDF/07RRO116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана.

2. **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.

3. **Жуков Д.В.** Оптимизация режимов работы тепловых сетей крупных систем централизованного теплоснабжения // *Новости теплоснабжения*. – 2012. – № 05(141).

4. **District heating network design and analysis** / M.A. Ancona, M. Bianchi, L. Branchini, F. Melino // *Energy Procedia*. – 2014. – Vol. 45. – P. 1225–1234.

5. **Modeling and optimizing the marginal expansion of an existing district heating network** / A. Delangle, R. Lambert, N. Shah, et al. // *Energy*. – 2017. – Vol. 140. – P. 209–223.

6. **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 // *Вестник ИГЭУ*. – 2018. – Вып. 2. – С. 57–66.

7. **Технология мониторинга и оптимизации режимов работы тепловых сетей (в рамках концепции «Умного города»)** / Ю.В. Яворовский, В.В. Сенников, В.В. Смирнов и др. // *Труды IX Междунар. школы-семинара молодых ученых и специалистов*. 5–12 октября 2018 г. Москва. – М., 2018.

8. **Солодов А.В., Гудзюк В.Л.** Определение количества тепловой энергии на отопление здания при отсутствии теплосчетчика // *Энергоэффективность*. – 2002. – Вып. 3. – С. 91–93.

9. **Кулагин С.М., Гудзюк В.Л., Корягин А.Н.** Опыт экспресс-аудита отопления жилых и административных зданий с использованием комплекса КФ и параметров А и В. // *Новости теплоснабжения*. – 2010. – № 4. – С. 46–48.

References

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

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

3. 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).

4. Ancona, M.A., Bianchi, M., Branchini, L., Melino, F. District heating network design and analysis. *Energy Procedia*, 2014, vol. 45, pp. 1225–1234.

5. Delangle, A., Lambert, R., Shah, N., Acha, S., Markides, C. Modeling and optimizing the marginal expansion of an existing district heating network. *Energy*, 2017, vol. 140, pp. 209–223.

6. Kosyakov, S.V., Sadykov, A.M., Sennikov, V.V., Smirnov, V.V. Povyschenie effektivnosti ekspluatatsii sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya na osnove primeneniya informatsionnoy sistemy monitoringa teplovykh setey [Improving the efficiency of operation of district heating systems based on the use of an information system for monitoring heating networks]. *Vestnik IGEU*, 2018, issue 2, pp. 57–66.

7. Yavorovskiy, Yu.V., Sennikov, V.V., Smirnov, V.V., Kosyakov, S.V., Sadykov, A.M. Tekhnologiya monitoringa i optimizatsii rezhimov raboty teplovykh setey (v ramkakh kontseptsii «Umnogo goroda») [Technology of monitoring and optimization of thermal networks (within the concept of “Smart cities”)]. *Trudy IX Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh uchenykh i spetsialistov. 5–12 oktyabrya 2018 g. Moskva* [Proceedings of the ninth international school-seminar of young scientists and specialists. October 5–12, 2018, Moscow]. Moscow, 2018.

8. Solodov, A.V., Gudzyuk, V.L. Opredele-nie kolichestva teplovoy energii na otoplenie zdaniya pri otsutstvii teploschetchika [Determination of the amount of thermal energy for heating a building in the absence of a heat meter]. *Energoeffektivnost'*, 2002, issue 3, pp. 91–93.

9. Kulagin, S.M., Gudzyuk, V.L., Koryagin, A.N. Opyt ekspress-audita otopleniya zhilykh i administrativnykh zdaniy s ispol'zovaniem kompleksa КФ i parametrov А i В [Experience the Express audit heating of residential and administrative buildings with the use of complex and КF parameters А and В]. *Novosti teplosnabzheniya*, 2010, no. 4, pp. 46–48.