

# Использование данных телеметрии для прогнозирования расчетной тепловой нагрузки на отопление

УДК 628 : 004.9

**Китайцева Елена Халиловна**

Доцент, к.т.н., доцент кафедры Информационных систем, технологий и автоматизации в строительстве (ИСТАС) Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); Россия, 129337 г. Москва, Ярославское ш., д. 26; e-mail: Kitaytse-vaEH@mgsu.ru

**Аннотация:** Статья является продолжением серии статей об использовании данных телеметрии параметров тепловой сети. В первой статье рассмотрена система верификации данных на основе непротиворечивости физическим законам. Вторая статья посвящена использованию регрессионного анализа для проверки данных телеметрии. Предлагаемая статья показывает использование данных телеметрии для оценки и прогнозирования одного из самых важных параметров тепловой сети – расчетной нагрузки на отопление.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что недостаточно только анализировать пересчитанную на текущие условия расчетную тепловую нагрузку и сравнивать эти значения с фактическим потреблением. Необходимо одновременно анализировать отклонение разности температур на выходе и входе в ЦТП с нормируемыми параметрами тепловых графиков.

**Ключевые слова:** тепловая сеть, расчетная тепловая нагрузка на отопление, данные телеметрии

## Актуальность работы

Расчетная тепловая нагрузка на нужды отопления зданий является одним из основополагающих фак-

торов при проектировании и эксплуатации тепловых сетей. На стадии проектирования подключения абонента к тепловой сети используются расчетные значения  $Q$ , полученные для расчетных климатических условий, выбранных теплотехнических характеристик ограждающих конструкций и параметров внутреннего воздуха. В процессе эксплуатации зданий теплотехническая характеристика ограждающих конструкций меняется как в одну, так и в другую сторону [1-2]. Здание полностью или частично может быть перепрофилировано, что в отдельных случаях может привести к изменению требований к температуре внутреннего воздуха. Могут меняться площадь и теплоотдача нагревательных приборов системы отопления. Количество подключенных к тепловой сети систем отопления также не является постоянной величиной.

Используя расчетную тепловую нагрузку, судят о недотопах или перетопах зданий, ее используют при наладке систем теплоснабжения, опираясь на ее значение, прогнозируют потребность в топливе. Но по прошествии времени расчетная тепловая нагрузка только приблизительно характеризует потребность каждого здания в тепловой энергии.

Целью работы является демонстрация использования данных телеметрии для прогнозирования расчетной тепловой нагрузки на отопление зданий.

## USING TELEMETRY DATA TO PREDICT THE ESTIMATED HEAT LOAD ON HEATING

**Kitaytseva Elena Khalilovna**

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems, Technologies and Automation in Construction (ISTAS) Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russia; e-mail: Kitaytse-vaEH@mgsu.ru

**Abstract:** The article is a continuation of a series of articles on the use of telemetry data of heat network parameters. In the first article, a data verification system based on consistency with physical laws is considered. The second article is devoted to the use of re-

gression analysis to verify telemetry data. The proposed article shows the use of telemetry data to evaluate and predict one of the most important parameters of the heating network – the estimated heating load.

The presented results indicate that it is not enough just to analyze the calculated heat load re-calculated for the current conditions and compare these values with the actual consumption. It is necessary to simultaneously analyze the deviation of the temperature difference at the outlet and entrance to the TSC with the normalized parameters of thermal graphs.

**Keywords:** heating network, estimated heat load on heating, telemetry data

## Методы

Данные телеметрии, которые позволяют оценить и прогнозировать расчетную тепловую нагрузку, следующие [3-4]:

- температура наружного воздуха, °С, ;
- температура теплоносителя, °С, на выходе из ЦТП и на входе в не-го ;
- объемные расходы, м3/сут, в подающем трубопроводе на выходе из ЦТП и в обратном трубопроводе на входе в него .

Фактическая температура наружного воздуха, °С, , которая при-нималась одинаковой для всех ЦТП, также извлекалась из архивных дан-ных. Отсутствие данных не позволило оценить суточную амплитуду коле-баний температуры наружного воздуха, поэто-му она принималась равной 0.

Массовый расход , т/сут, определялся по формуле:

$$M = 0.5[\rho(t_1)V_1 + \rho(t_2)V_2], \quad (1)$$

где , - плотность теплоносителя соответствен-но при температу-ре и находилась с помощью формулы, аппроксимирующей таблич-ные дан-ные [9]:

$$\rho(t) = 1000 - 3,8718 \cdot 10^{-2}(t-4) - 5,38 \cdot 10^{-3}(t-4)^2 + 2,008 \cdot 10^{-5}(t-4)^3 + 4,2896 \cdot 10^{-8}(t-4)^4 \quad (2)$$

Фактическое количество теплоты, отпущенное из ЦТП, на нужды отопления зданий, Гкал/сут, опре-делялось по формуле:

$$Q_\phi = c(M_1t_1 - M_2t_2), \quad (3)$$

где индекс “1“ соответствует параметрам тепло-носителя в подающем тру-бопроводе на выходе из ЦТП, индекс “2“ - параметрам теплоносителя в об-ратном трубопроводе на входе в ЦТП.

В качестве расчетной тепловой нагрузки на ото-пление были выбра-ны данные из источника 2 “Схема”, (таблица 1) так как в этом варианте для всех ЦТП присоединенная нагрузка на нужды ото-пления была ниже, а протяженность и объем сетей выше.

Для оценки перетоков и недотоков зданий сум-марная расчетная нагрузка зданий Qp пересчитыва-лась на текущие условия [5-8]:

$$Q_\phi^p = 24Q^p \frac{t_g - t_n^\phi}{t_g - t_n^p}, \quad (4)$$

где , °С, - расчетная температура внутреннего воз-духа принималась рав-ной 18°С для всех зданий; , °С, - температура наружного воздуха принима-лась в соответствии с [9] равной -20 °С.

Поскольку расчетная и фактическая нагрузки от-личаются для раз-ных ЦТП в разы (таблица 1), ана-лизировалось относительное отклонение фактиче-

Таблица 1

### Сравнение основных параметров тепловой сети

№ ЦТП	Источник информации								
	1 - Инструкции			2 - Схема			Расхождение информации		
	Qp	L	V	Qp	L	V	Qp	L	V
	Гкал/ч	м	м3	Гкал/ч	м	м3	%		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8,735	3428	138	8,587	9382	137	1,7	-63,5	0,5
2	4,759	3222	73	4,380	7109	73	8,7	-54,7	0,0
3	2,840	1883	30	1,635	2592	21	4,1	-52,7	-5,4
4	1,487	1324	26	1,259	3685	31	18,1	-64,1	-16,0
5	-	-	-	1,095	1386	10	-	-	-
6	0,636	580	6	0,574	654	5	10,7	-11,3	24,1
7	0,506	1022	14	0,470	991	9	7,6	3,1	48,5
Мин	0,506	580	6	0,470	654	5	1,7	-64,1	-16,0
Макс	8,735	3428	138	8,587	9382	137	18,1	3,1	48,5
Макс ----- Мин	17,3	5,9	22,8	18	14	28	10,5	0,0	-3,0

ского потребления теплоты, определенного по (3), от расчетного, пересчитанного на текущие условия (4):

$$\Delta Q = 100 \frac{Q_{\phi} - Q^p}{Q^p}, \% \quad (5)$$

## Результаты

Выборка данных телеметрии охватывала замеры в период с 1.01.2018 по 25.03.2019. Летний (неотопительный) период работы тепло-вой сети не был задан явно, поэтому он был определен по среднесуточной температуре наружного воздуха. В результате из первоначальной выборки были удалены данные замеров, проведенных с 18.06.2018 по 29.09.2018. Периодичность сбора данных – сутки. Объем первоначальной выборки  $n = 340$ . Сбор информации проводился на 7 центральных тепло-вых пунктах (ЦТП), подключенных к одному источнику теплоснабжения.

Минимальные, максимальные и средние значения за период наблюдения для всех ЦТП представлены в таблице 2.

Таблица 2

### Относительное отклонение фактического потребления тепловой энергии от расчетного

№ ЦТП	Q, %		
	мин	макс	среднее
1	-13,3	45,6	8,3
2	-18,6	47,9	6,9
3	-30,7	64,5	-2,4
4	-17,1	35,0	2,9
5	3,7	101,9	46,5
6	-52,1	-12,3	-32,6
7	-20,4	69,8	9,8

На рис. 1 представлено изменение для трех ЦТП с минимальным, максимальным и практически нулевым средним значением – соответственно ЦТП №5, ЦТП №6, ЦТП №4. Положительные значения говорят о том, что отпущено теплоты больше, чем требуется для поддержания в зданиях нормируемой температуры внутреннего воздуха, отрицательные – о невозможности обеспечить требуемые условия.

Фактическое изменение температур теплоносителя и их разности для ЦТП 4 - 6 представлено соответственно на рис. 2. и рис. 3.

Расхождения в значениях расчетной тепловой нагрузки  $Q_p$  не так велики и составляют от 1,7% до

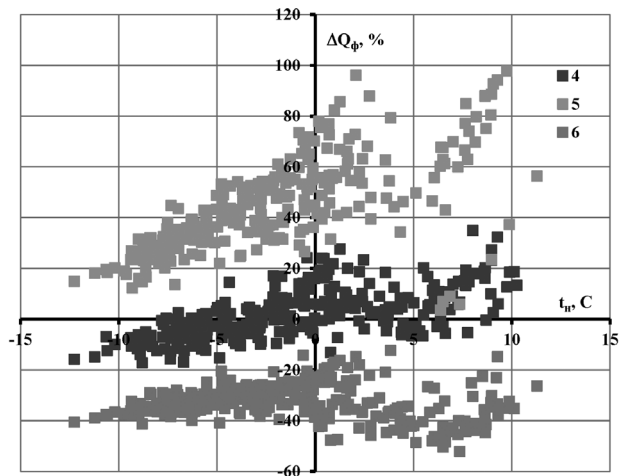


Рис. 1. Изменение относительного отклонения фактического потребления тепло-вой энергии от расчетного

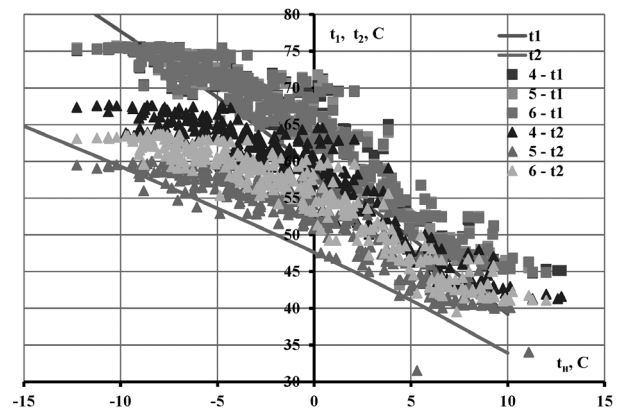


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителя  $t_1$  и  $t_2$

18,1% (столбец 8 таблица 1), но по значимости и по сложности актуализации тепловая нагрузка подключенных абонентов стоит на первом месте.

Представленные на рис. 1 обработанные данные телеметрии, говорят о том, что если заданная расчетная тепловая нагрузка на нужды отопления присоединенных зданий соответствует действительности, то можно предположить, что будет израсходован весь температурный перепад для ЦТП 4, для ЦТП 6 температурный перепад будет больше нормируемого и температура теплоносителя, возвращаемого в ЦТП будет ниже нормируемой, и наоборот - для ЦТП 5 температурный перепад будет меньше, и температура будет выше нормируемых значений.

Как видно из рис. 2 характер распределения температуры теплоносителя на выходе из разных ЦТП

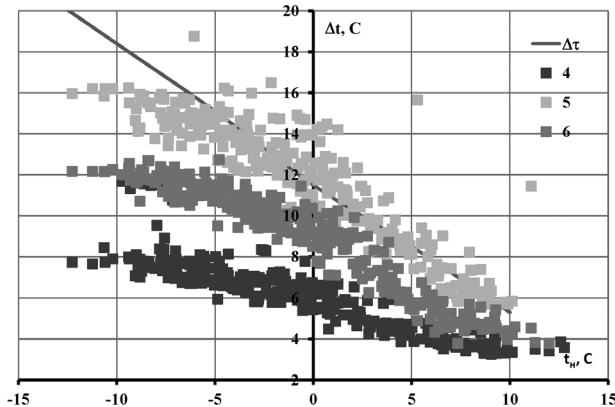


Рис. 3. Изменение разности температур теплоносителя

одинаков — для всех объектов наблюдения температура одинаково завышена против расчетной при высоких температурах наружного воздуха и практически совпадает с расчетной при  $< -7$  °С. Температура теплоносителя, возвращаемого в ЦТП, выше нормируемых значений для всех ЦТП во всем диапазоне изменения температуры наружного воздуха, это превышение больше при высоких температурах и уменьшается при понижении. Соотношение температур для разных ЦТП не соответствует результатам, представленным на рис. 1. Это несоответствие особенно хорошо видно на рис. 3.

Представленное распределение свидетельствует о нормативном по-треблении тепловой энергии абонентами ЦТП 5, о перерасходе тепловой энергии абонентами ЦТП 6 и о еще большем перерасходе ЦТП 4.

Таким образом, можно предположить, что суммарная тепловая нагрузка присоединенных абонентов ЦТП 5 занижена, у ЦТП 4 и ЦТП 6 занижена, причем, у ЦТП 4 она занижена больше.

## Выводы

1. Отсутствие резких сдвигов и трендов в распределении для всех представленных ЦТП (рис. 1) свидетельствует о постоянстве присоединенной нагрузки в период наблюдения.

2. Противоречие между динамикой данных, представленных на рис. 1 и рис. 2 и 3, говорит о том, фактическая тепловая нагрузка отличается от принятой для сравнения расчетной нагрузки.

3. Оценить не только качественно, но и количественно расчетную тепловую нагрузку можно при использовании регрессионного анализа данных телеметрии.

4. Детальные алгоритмы обработки данных телеметрии и результаты будут представлены в последующих публикациях.

## Литература

1. Якимович Б. А., Вологдин С. В., Ботова Я. С. Применение информационных технологий для анализа класса энергетической эффективности жилых зданий Интеллектуальные системы в производстве. 2013. № 2 (22) С. 221–224
2. Бабенко В.Н., Кузнецов Р.С., Орлов С.И., Чипулис В.П. Мониторинг и анализ эксплуатационных режимов объектов-потребителей тепловой энергии. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» 2005
3. Kitaytseva, E. Verification of Heat Supply System Telemetry Data //Lecture Notes in Civil Engineering. - 2022, 170, С. 513–524. DOI: 10.1007/978-3-030-79983-0\_47
4. Kitaytseva, E. Regression Analysis as a Method of Telemetry Data Verification //Lecture Notes in Civil Engineering. - 2022, 231, С. 125–135. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7\_13
5. Даниельян С.А., Кузнецов Р.С., Раздобудько В.В., Чипулис В.П. Автоматизация проектирования информационно – аналитических систем объектов теплоэнергетики Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» 2008
6. Чипулис В.П. Оценка эффективности регулирования теплоснабжения с использованием архивной информации приборов учета тепловой энергии Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» 2013
7. Виноградов А.Н. Оценка достоверности измерения температуры в системах теплоснабжения с использованием аппарата регрессионного анализа. Труды Международного симпозиума «Надежность и качество» 2006
8. Аверьянов В. К. Методика диагностики фактического состояния систем отопления объектов военной инфраструктуры, М.: МО РФ, 2006 176 с.
9. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей [Текст] : Справочник / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж [и др.]. – 3+е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1988. – 432 с.