



ОПТИМАЛЬНАЯ ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ИСТОЧНИКЕ ТЕПЛОТЫ И ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ НА ПОТЕРИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Ахметова И.Г., Лапин К.В.

Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия

ORCID:0000-0002-7082-2005, irina_akhmetova@mail.ru; lapinkv@yandex.ru

Резюме: ЦЕЛЬ. В современных реалиях эксплуатация тепловых сетей системы централизованного теплоснабжения сопряжена с постоянным поиском способов минимизации потерь тепловой энергии. МЕТОДЫ. Поэтому высокую актуальность приобретает задача минимизации потерь тепловой энергии при осуществлении регулирования температуры, подаваемой теплоносителя от источников теплоты. При эксплуатации тепловых сетей централизованного теплоснабжения в Российской Федерации регулирование подачи теплоты потребителям в течение отопительного периода осуществляется в зависимости от температуры наружного воздуха, как правило, двумя способами: качественный способ за счет изменения температуры воды в подающей магистрали тепловой сети; качественно-количественный за счет изменения температуры и расхода воды в подающей магистрали тепловой сети. Применяемые способы регулирования связаны с необходимостью поддержания стабильного гидравлического режима тепловых сетей. Действия по регулированию подачи теплоты потребителям выполняются на источнике тепловой энергии в соответствии с указанием диспетчера тепловых сетей согласно утвержденному температурному графику для системы теплоснабжения. РЕЗУЛЬТАТЫ. В работе приводятся результаты исследования зависимости изменения фактических тепловых потерь для участка теплосети, находящегося в процессе эксплуатации в нестационарном режиме. Предложены критерии задания диспетчером теплосети температуры теплоносителя на источнике теплоты, требуемой для исполнения температурного графика. Полученные результаты также могут быть использованы в организациях, эксплуатирующих тепловые сети централизованного теплоснабжения, для обеспечения регулирования режима работы теплосети при минимуме потерь тепловой энергии. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Характер изменения температуры подаваемого теплоносителя в сеть (интервал задания нового значения и скорости изменения температуры) непосредственно влияет на потери тепловой энергии в окружающую трубопроводы среду, возникающие в результате градиента температур теплоносителя в трубопроводе и окружающей среды. Учитывая то, что значения температур наружного воздуха, теплоносителя, влияющих на режим работы теплосети, постоянно изменяются во времени, процессы теплообмена (теплопередачи) между теплоносителем и окружающей трубопровод средой являются нестационарными. В работе рассмотрены текущие требования нормативно-технических документов касательно задания режима работы теплосети, проанализированы факторы, влияющие на изменение режима теплосети.

Ключевые слова: теплоснабжение; регулирование подачи теплоты; диспетчер тепловых сетей; потери тепловой энергии; температура теплоносителя.

Для цитирования: Ахметова И.Г., Лапин К.В. Оптимальная периодичность изменения температуры теплоносителя на источнике теплоты и влияние скорости её изменения на потери тепловой энергии // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2023. Т.25. № 3. С. 139-149. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-3-139-149.

OPTIMAL FREQUENCY OF TEMPERATURE CHANGE OF A HEAT TRANSFER AGENT ON A HEAT SOURCE AND THE INFLUENCE OF THE RATE OF CHANGE THEREOF ON HEAT ENERGY LOSS

IG. Akhmetova, KV. Lapin

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

ORCID: 0000-0002-7082-2005, irina_akhmetova@mail.ru; lapinkv@yandex.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* In modern realities, the operation of heat networks of the district heating system involves a constant search for ways to minimize heat energy losses. *METHODS.* Therefore, the task of minimizing heat energy losses while controlling the temperature of the supplied heat transfer medium from the sources of heat becomes very important. When operating district heating networks in the Russian Federation, regulation of heat supply to consumers during the heating period is carried out depending on the outside air temperature, as a rule, in two ways: qualitative method by changing the water temperature in the supply main of the heating network; qualitative-quantitative method by changing the temperature and water consumption in the supply main of the heating network. The methods of regulation used are related to the need to maintain a stable hydraulic mode of heat networks. Actions on the regulation of heat supply to consumers are performed at the heat source in accordance with the indication of the heat network dispatcher according to the approved temperature schedule for the heat supply system. *RESULTS.* This paper presents the results of a study of the dependence of changes in the actual heat losses for the section of the heating network, which is during the operation process in a non-stationary mode. Criteria for setting the temperature of the heat carrier at the heat source required to meet the temperature schedule by the heat network dispatcher are proposed. The results obtained can also be used in organizations operating district heating networks to ensure the regulation of the heating network operation mode with minimum heat losses. *CONCLUSION.* The nature of changing the temperature of the supplied coolant in the network (the interval of setting a new value and the rate of temperature change) directly affects the heat energy losses in the surrounding pipeline environment, resulting from the temperature gradient of the coolant in the pipeline and the environment. Given the fact that the values of the temperature of the outside air, heat-carrier, affecting the operating mode of the heating system is constantly changing over time, the processes of heat-exchange (heat transfer) between the coolant and the environment surrounding the pipeline are unsteady. The work reviewed the current requirements of regulatory and technical documents on the setting of the heating network operation mode, analyzed the factors affecting changes in the mode of the heating system.

Keywords: heat supply; heat regulation; heat network dispatcher; heat losses; coolant temperature.

For citation: IG. Akhmetova, KV. Lapin. Optimal frequency of temperature change of a heat transfer agent on a heat source and the influence of the rate of change thereof on heat energy loss. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2023; 25(3):139-149. doi:10.30724/1998-9903-2023-25-3-139-149.

Введение. Литературный обзор

Предусмотренный нормативно-техническими документами [1, 2] режим изменения температуры подаваемой сетевой воды в сети централизованного теплоснабжения из коллекторов источников теплоты в соответствии с заданием диспетчера тепловой сети определен следующим образом:

- температура сетевой воды в подающих трубопроводах изменяется в соответствии с утвержденным для системы теплоснабжения температурным графиком;
- температура сетевой воды должна быть задана по усредненной температуре наружного воздуха за промежутки времени в пределах 12-24 ч (один или два раза в сутки), в зависимости от длины сетей, климатических условий и других факторов.

В соответствии с [1, 2, 3, 6] регулирование температуры воды на выходе из сетевых подогревателей, на выводах тепловой сети, а также на станциях подмешивания, расположенных в тепловой сети, должно быть равномерным со скоростью, не превышающей 30°C в час. Такое ограничение по режиму работы теплофикационной

установки источника обусловлено тем, чтобы исключить возможность значительных тепловых деформаций трубопроводов и рабочих поверхностей теплообменных аппаратов.

Исходя из существующих нормативно-технических требований, задание (изменение) диспетчером тепловой сети температуры теплоносителя не поставлено в зависимость от цели минимизации потерь тепловой энергии через теплоизоляционные конструкции трубопроводов.

Постановка задачи исследования

Актуальность исследования заключается в рассмотрении вопроса критериев влияния режима изменения температуры сетевой воды на потери тепловой энергии в сетях. В [7] предложена методика плавного регулирования температуры теплоносителя на выходных коллекторах энергоисточников исходя из цели обеспечить отпуск тепловой энергии за период шести суток максимально близкий к величине нормативно-расчетного отпуска, уменьшить частоту и амплитуду колебаний температуры теплоносителя. Практическое использование данной методики для погодных условий г. Санкт-Петербурга в период отопительного сезона предполагает, что расчет температурного режима на последующий период регулирования (продолжительностью 3-ое суток) выполняется ежедневно в 13:00 (после получения прогноза Гидрометцентра о погоде на предстоящую неделю). Фактическая корректировка температурного задания выполняется в случае, если результат расчета требует изменения температуры теплоносителя на величину более 2°C.

При этом влияние предложенной методики плавного регулирования температуры теплоносителя на потери тепловой энергии в сетях не рассмотрено.

В [8] рассмотрена проблема выбора оптимальной температуры теплоносителя по критерию минимальных затрат электроэнергии на перекачку теплоносителя и сокращения потерь теплоты при его транспортировке, приходящихся на 1 погонный метр трубопровода теплосети. Автором предложена методика построения температурного графика качественно-количественного способа регулирования температуры теплоносителя, приведены результаты расчета оптимальной температуры для конкретных климатических условий. Режим изменения температуры сетевой воды в соответствии с заданием диспетчера тепловой сети не рассматривался.

Учитывая малую исследованность влияния режима изменения температуры сетевой воды на потери тепловой энергии в сетях, высокую актуальность приобретает вопрос разработки для диспетчерской службы теплосети критериев изменения температуры теплоносителя, позволяющих минимизировать потери тепла через теплоизоляционные конструкции трубопроводов.

Материалы и методы

Согласно [4] средняя суточная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха в городах России находится в пределах 3,8...16,9°C. Разброс средних значений суточной амплитуды характеризуется следующими факторами:

- территориальный (условия различных климатических зон);
- временной, когда суточная амплитуда зависит от времени года. При этом амплитуда изменения температуры наружного воздуха растет с увеличением среднемесячной температуры наружного воздуха.

На протяжении года максимальная суточная амплитуда температуры наружного воздуха выше средней в 2-4 раза. Причем кратность максимальной амплитуды к среднесуточной увеличивается в осенне-зимний период и достигает максимального значения в холодные месяцы.

График суточного хода температуры наружного воздуха имеет вид синусоиды, так как это связано с суточным ходом освещенности Земли (нагревом воздуха и поверхностей солнечной радиацией). В течении суток достигаются значения максимальной (однократно), минимальной (однократно) и средней (двукратно) температуры наружного воздуха.

Например, согласно приведенной в [4] для г. Казани в республике Татарстан суточная амплитуда температуры воздуха составляет (табл. 1):

Таблица 1
Table 1Суточная амплитуда температуры воздуха.
Daily air temperature amplitude.

январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Средняя суточная амплитуда температуры наружного воздуха, °C											
6,5	7,6	8	8,1	10,7	11,9	11,1	10,8	9,2	6,1	5,2	6,2
Максимальная суточная амплитуда температуры наружного воздуха, °C											
20,4	19,7	19,5	18,7	20,7	21,9	19,1	19,8	21,3	17,3	22,3	26,7
Средняя месячная температура воздуха, °C											
-11,6	-10,9	-4,3	5,3	13,2	17,6	19,7	17,4	11,5	4,2	-3,2	-8,9

*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author.

Используя действующий на текущий момент температурный график качественно-количественного регулирования (утвержден 28.06.2021) для системы централизованного теплоснабжения для Казанских ТЭЦ-1,2 (115/70°C), расчетная амплитуда (диапазон) суточного изменения температуры подаваемого теплоносителя в подающем трубопроводе от источника теплоты в зимний период должна составлять (табл. 2):

Таблица 2
Table 2

Расчетная амплитуда (диапазон) суточного изменения температуры подаваемого теплоносителя в подающем трубопроводе от источника теплоты в зимний период
Calculated amplitude (range) of the daily variation of the supply temperature in the supply line from the heat source in winter period

январь	февраль	март	апрель	октябрь	ноябрь	декабрь
при средней амплитуде температуры наружного воздуха, °C						
12,2	14,4	17,8	2,8	2,8	12,1	12,4
при максимальной амплитуде температуры наружного воздуха, °C						
34,8	35,6	34,1	14,1	15,2	34,7	42,8

*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author.

Скорость изменения температуры теплоносителя в период осенне-зимнего периода (ноябрь-март) составит порядка 0,50...0,74°C/час для условия соблюдения средней амплитуды и 1,42...1,78°C/час для максимальной амплитуды (при расчете скорости исключены переходные месяцы апрель, октябрь, где амплитуда минимальна). Указанные значения много меньше установленного нормативно-техническими требованиями предела 30°C/час.

Заданное 1-2 раза в сутки диспетчером теплосети значение температуры теплоносителя по усредненной температуре наружного воздуха согласно [1,2] не учитывает амплитуду колебаний температуры воздуха в течение суток (см. табл.1) и вследствие чего не может быть соблюдена необходимая амплитуда (диапазон) изменения температуры подаваемого теплоносителя (см. табл.2).

Это приводит к тому, что в течении суток температура теплоносителя не будет соответствовать температурному графику в большинстве времени, что противоречит нормативному условию изменения температуры сетевой воды в соответствии с утвержденным для системы теплоснабжения температурным графиком.

К тому же, завышенное значение температуры теплоносителя провоцирует возникновение дополнительных тепловых потерь из-за увеличения градиента температуры между теплоносителем и окружающей средой.

Таким образом, в условиях необходимости надлежащего обеспечения тепловой энергией потребителей периодичность задания диспетчером теплосети температуры теплоносителя требуется установить чаще.

Для исключения вышеописанного эффекта несоответствия в течение суток заданной диспетчером теплосети температуры теплоносителя относительно температурного графика в первом приближении периодичность задания необходимо уменьшить до минимума (то есть постоянно).

Между тем, современный уровень систем анализа и прогноза синоптических процессов на основе данных спутниковых и наземных метеостанций, их доступность для использования широким кругом пользователей, позволяют прогнозировать изменение температуры наружного воздуха не чаще, чем каждый час.

Исходя из требования [1,6] по возможному отклонению температуры воды, поступающей в тепловую сеть, от заданного режима на источнике теплоты не более $\pm 3\%$ (или 6% по модулю), вычислим среднее значение допустимого отклонения температуры теплоносителя по формуле:

$$t_{\text{откл}}^{\text{доп}} = 0,06 \cdot t_{\text{прогноз}}^{\text{тн}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{прогноз}}^{\text{тн}}$ - температура теплоносителя по температурному графику при средней температуре наружного воздуха за предстоящий период суток (согласно прогнозу), °С.

Исходя из условия необходимости соблюдения температурного графика периодичность задания температуры теплоносителя в сутки при этом будет равна:

$$\Pi_{\text{сут}} = \frac{t_{\text{тн.амп}}^{\text{прогноз}}}{t_{\text{откл}}^{\text{доп}}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{тн.амп}}^{\text{прогноз}}$ - амплитуда суточного изменения температуры подаваемого теплоносителя, соответствующая амплитуде суточного изменения температуры наружного воздуха по данным прогноза на предстоящие сутки, °С.

Объединив формулы (1) и (2), получим:

$$\Pi_{\text{сут}} = \frac{t_{\text{тн.амп}}^{\text{прогноз}}}{0,06 \cdot t_{\text{прогноз}}^{\text{тн}}} \quad (3)$$

На примере г. Казани, рассчитаем оптимальную периодичность задания диспетчером теплосети температуры теплоносителя исходя из средней амплитуды суточного изменения температуры наружного воздуха в марте месяце, который наиболее близко характеризует средние значения температуры наружного воздуха в осенне-зимний период.

Результаты расчета по формулам (1,3) на примере г. Казани: температура подаваемого теплоносителя по температурному графику при средней температуре наружного воздуха за март составляет $t_{\text{прогноз}}^{\text{тн}} = 88^\circ\text{C}$, допустимое отклонение температуры теплоносителя на источнике теплоты составляет $t_{\text{откл}}^{\text{доп}} = 5,28^\circ\text{C}$, амплитуда суточного изменения температуры подаваемого теплоносителя соответствующая средней амплитуде суточного изменения температуры наружного воздуха в марте из [9] составляет $t_{\text{тн.амп}}^{\text{прогноз}} = 17,8^\circ\text{C}$, периодичность задания температуры теплоносителя в сутки составит $\Pi_{\text{сут}} = 3,37$ ($\approx$ каждые 8 часов суток).

Принимая условие о том, что периодичность задания диспетчером теплосети температуры теплоносителя по г. Казани должна гарантировать исполнение утвержденного для системы теплоснабжения температурного графика, использование значения максимальной амплитуды суточного изменения температуры наружного воздуха для расчета оптимальной периодичности задания температуры теплоносителя по формуле (3) обосновано.

Используя значение максимальной амплитуды суточного изменения температуры наружного воздуха по г. Казани в марте из [9], которое составляет $t_{\text{тн.амп}}^{\text{прогноз}} = 34,1^\circ\text{C}$, расчёт

по формуле (3) оптимальной периодичности задания температуры теплоносителя дает $\Pi_{\text{сут}} = 6,46$ ($\approx$ каждые 4 часов суток).

Необходимо отметить то, что тепловая сеть обладает инерционностью - величина времени прохождения теплоносителя по участку тепловой сети от источника до объекта потребителя (время прохождения так называемой «температурной волны»), которая для разветвленных систем централизованного теплоснабжения достигает от нескольких часов до полусуток.

Таким образом, диспетчер теплосети при задании температуры теплоносителя должен в обязательном порядке учитывать инерционность теплосети, а именно среднее время прохождения температурной волны до объектов теплопотребления, чтобы корректно задать требуемую температуру теплоносителя, которая необходима для отопления объектов потребителей согласно прогнозным данным о температуре воздуха.

Результаты и их обсуждение

В [5] приведены результаты исследования проблемы расчета тепловых потерь в нестационарных условиях при постоянно изменяющемся градиенте температур теплоносителя на источнике теплоты и в конце исследуемого участка теплосети (в режиме реального времени), в результате которых получена математическая функция зависимости изменения соотношения фактических и нормативных тепловых потерь для участка теплосети, находящего в процессе эксплуатации.

Результаты исследования показывают то, что при эксплуатации тепловых сетей соотношение фактических и нормативных тепловых потерь для участка тепловой сети изменяется во времени и линейно зависит от скорости изменения температуры теплоносителя.

Аналогичные исследования проведены на участке теплосети в г. Казани от районной котельной «Савиново» до объекта теплопотребления «Многоквартирный дом по ул. Мусина, 53».

Данные о фактической температуре теплоносителя в конце исследуемого участка тепловой сети из системы дистанционного снятия показаний и нормативное значение температуры теплоносителя, рассчитанное по нормам из [10], за промежуток времени с 19.12.2021 по 25.12.2021 (6 суток) показаны на рисунке 1.

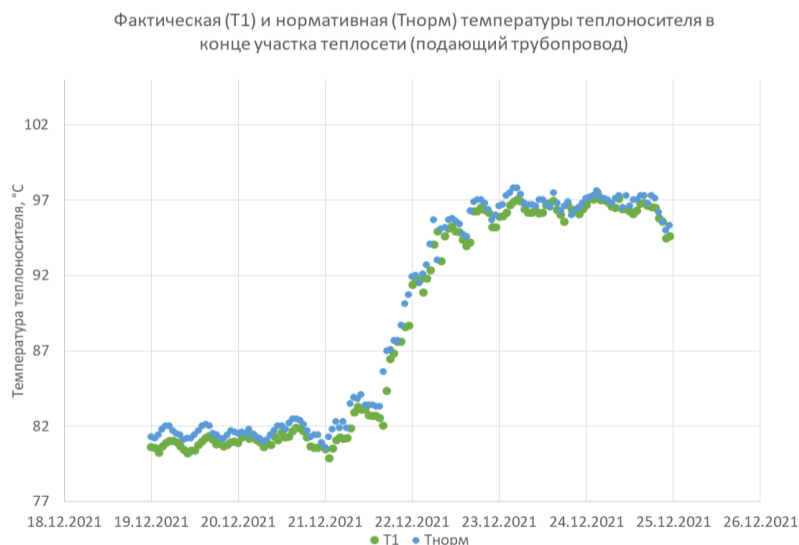


Рис. 1 Данные о фактической температуре теплоносителя в конце исследуемого участка тепловой сети

Fig.1. Data on the actual coolant temperature at the end of the investigated heat network section

*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author

Как видно из рис.1, фактическая температура теплоносителя изменялась во времени (ввиду изменения температуры теплоносителя по заданию диспетчера теплосети из-за колебаний температуры наружного воздуха) и была ниже нормативного значения температуры теплоносителя.

Вычисление соотношения фактических и определенных по нормам [10] тепловых потерь для исследуемого участка тепловой сети произведем по формуле:

$$K = \frac{T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} - T_{\tau_k}^{\text{тн.кон}}}{T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} - T_{\text{норм}}^{\text{тн.кон}}} \quad (4)$$

где $T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}$ - фактическая температура подаваемого теплоносителя от районной котельной «Савиново» по данным системы дистанционного снятия показаний в момент времени τ_0 , °C; $T_{\tau_k}^{\text{тн.кон}}$ - фактическая температура теплоносителя, поступающего в систему теплоснабжения объекта по данным системы дистанционного снятия показаний в момент времени τ_k , °C; $T_{\text{норм}}^{\text{тн.кон}}$ - нормативная температура теплоносителя, поступающего в систему теплоснабжения объекта, °C.

Принимая во внимание то, что система дистанционного снятия показаний фиксирует время каждого измерения, значение фактической температуры теплоносителя в конце участка тепловой сети, полученное в момент времени τ_k , необходимо соотносить с температурой теплоносителя в начале участка тепловой сети в момент времени τ_0 с задержкой на величину времени прохождения теплоносителя по участку тепловой сети от районной котельной «Савиново» до объекта теплоснабжения «Многоквартирный дом по ул. Мусина, 53» (48,2 минут).

Время прохождения температурной волны определено исходя из гидравлического расчета по данным электронной модели Схемы теплоснабжения г. Казани, утвержденной приказом Минэнерго России от 30.12.2021 №1543.

На рисунке 2 представлены графики для исследуемого участка теплосети от районной котельной «Савиново» до объекта теплоснабжения «Многоквартирный дом по ул. Мусина, 53»:

- значений скорости изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе теплосети от районной котельной «Савиново» во времени;
- значений соотношения фактических и нормативных (по нормам в [10]) значений потерь тепловой энергии через теплоизоляционные конструкции, рассчитанных по формуле (4).

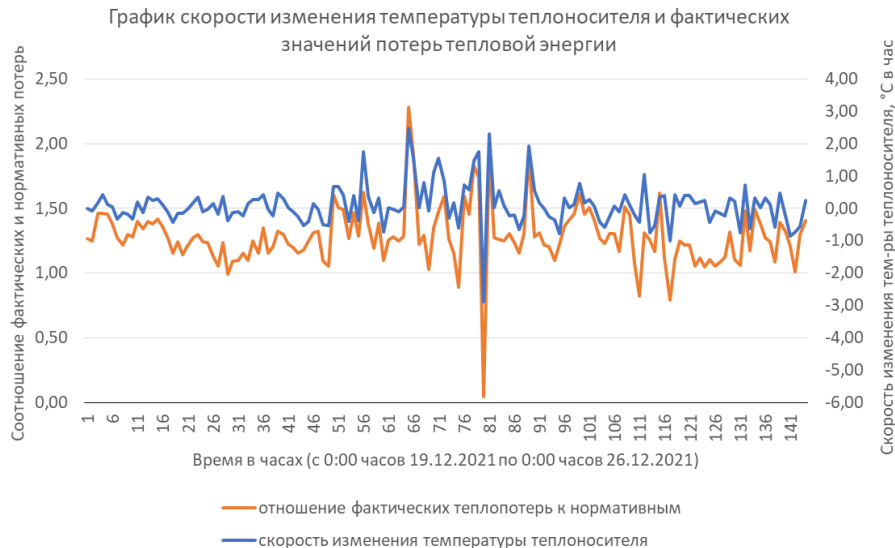


Рис.2 Графики для исследуемого участка теплосети Fig. 2. Graphs for the investigated heat network section

*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author

Взаимное коллинеарное расположение графиков указывает на их линейную зависимость друг от друга.

Путем аппроксимации данных, представленных на рис.2, по методу наименьших квадратов выполнено построение математической функции зависимости изменения соотношения фактических и нормативных тепловых потерь (коэффициент К) от скорости изменения температуры теплоносителя от районной котельной «Савиново», задаваемой диспетчером теплосети. Полученная функция и ее график представлены на рис.3.



Рис.3. Точки экспериментальных данных для построения графика зависимости

*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author

В результате получена математическая функция линейной регрессии:

$$K = 0,3018 \cdot \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + 1,2549 \quad (5)$$

где K - коэффициент (соотношение) фактических и определенных по нормам в [10] тепловых потерь для участка тепловой сети; $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}$ - скорость изменения температуры теплоносителя (на выводах районной котельной «Савиново»), °С/ч.

Таким образом, полученная линейная зависимость соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе теплосети от источника до конечного потребителя, полученная с использованием системы дистанционного съема показаний средств измерения температуры теплоносителя, имеет следующий вид:

$$K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}) = A \cdot \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B \quad (6)$$

где A - коэффициент, характеризующий влияние теплового состояния многослойной стенки (металл трубопровода, тепловая изоляция, грунт - для сетей подземной прокладки, воздушное пространство канала) на потери тепловой энергии во времени ($A > 0$), ч/°С; B - соотношение фактических и нормативных тепловых потерь для стационарного процесса при отсутствии изменения температуры теплоносителя в начале участка тепловой сети (при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} = 0$).

Учитывая то, что:

$$K = \frac{Q_i^{\text{ф.п}}}{Q_i^{\text{н.п}}}, \quad (7)$$

где $Q_i^{\text{ф.п}}$ - фактические потери тепловой энергии через тепловую изоляцию i -го участка трубопроводов; $Q_i^{\text{н.п}}$ - нормативные потерь тепловой энергии через тепловую изоляцию i -го участка трубопроводов, формула (6) может быть преобразована к следующему виду:

$$\frac{Q_i^{\text{ф.п}}}{Q_i^{\text{н.п}}} = A \cdot \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B \quad (8)$$

Рассматривая формулу (8), приходим к выводу о том, что в случае повышения температуры теплоносителя в трубопроводах теплосети (при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} > 0$) фактические потери тепловой энергии увеличиваются за счет усвоения тепловой энергии материалом теплоизоляции, металлом и оболочкой трубопровода, а также окружающей теплосеть

средой. А в случае снижения температуры теплоносителя (при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} < 0$) фактические потери тепловой энергии уменьшаются за счет отдачи тепловой энергии теплоносителю от материала теплоизоляции и окружающей теплоты среды. При этом ключевую роль играет скорость изменения температуры теплоносителя, которая фактически находится под управлением (влиянием) персонала источника тепловой энергии при выполнении задания диспетчера теплотсети.

Исходя из вышеописанной линейной зависимости, в целях минимизации потерь тепловой энергии от трубопроводов теплотсети в окружающую среду задание диспетчера теплотсети с рассчитанной по формуле (3) периодичностью должно содержать в себе не только значение требуемой температуры теплоносителя согласно утвержденному температурному графику, но и скорость изменения температуры теплоносителя по следующим критериям:

- при необходимости повышения температуры теплоносителя (в случае понижения температуры наружного воздуха) скорость изменения температуры теплоносителя должна быть задана диспетчером теплотсети минимальной (в этом случае при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} > 0, \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} \rightarrow \min, Q_i^{\phi, n} \rightarrow \min$);

- при необходимости понижения температуры теплоносителя (в случае повышения температуры наружного воздуха) скорость изменения температуры теплоносителя должна быть задана диспетчером теплотсети максимальной по модулю (в этом случае при $\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} < 0, |\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}| \rightarrow \max, Q_i^{\phi, n} \rightarrow \min$).

Определение действительного значения скорости изменения температуры теплоносителя в зависимости от предложенных критериев должно быть в ведении диспетчера теплотсети и зависеть от технического уровня тепломеханического оборудования источника теплоты, способности осуществлять изменение температуры теплоносителя, подаваемого в сеть, и точности работы регулирующего оборудования. Техническая возможность исполнения условий минимума, максимума скорости изменения температуры теплоносителя на источнике теплоты определяется техническими характеристиками регулирующего оборудования, а также регулирующей арматурой.

Выводы

В работе приведены результаты исследования в части разработки для диспетчерской службы теплотсети критериев изменения температуры теплоносителя, позволяющих минимизировать потери тепла через теплоизоляционные конструкции трубопроводов.

Исходя из значения максимальной амплитуды суточного изменения температуры наружного воздуха предложена формула расчета оптимальной периодичности задания диспетчером теплотсети температуры теплоносителя для обеспечения гарантированного исполнения утвержденного для системы теплоснабжения температурного графика.

Представлен общий вид математической формулы, описывающей зависимость соотношения фактических и нормативных потерь тепловой энергии по участку теплотсети от скорости изменения температуры теплоносителя в подающем трубопроводе теплотсети на источнике теплоты.

На основе исследования нестационарного процесса теплопередачи в сетях централизованного теплоснабжения в режиме реального времени обоснована необходимость задания диспетчером теплотсети скорости изменения температуры теплоносителя в целях минимизации потерь тепловой энергии от трубопроводов теплотсети в окружающую среду.

Разработаны критерии задания диспетчером теплотсети скорости изменения температуры теплоносителя, позволяющие получить положительный эффект от влияния теплового состояния многослойной стенки конструкции теплотсети на потери тепловой энергии во времени.

Использование в совокупности предложенного способа расчета оптимальной периодичности задания температуры теплоносителя и задание скорости изменения температуры теплоносителя согласно приведенных в работе критериев позволяет организации, эксплуатирующей тепловые сети, обеспечить минимальные значения потерь тепловой энергии.

Литература

1. Приказ Минэнерго России от 24.03.2003 N 115 «Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок» («Зарегистрировано в Минюсте России 02.04.2003 N 4358).
2. Приказ Госстроя РФ от 13.12.2000 N 285 «Об утверждении Типовой инструкции по технической эксплуатации тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения».
3. РД 153-34.0-20.507-98. Типовая инструкция по технической эксплуатации систем транспорта и распределения тепловой энергии (утв. РАО «ЕЭС России» 06.07.1998).

4. СП 131.13330.2018 «СНИП 23-01-99* Строительная климатология» (утв. приказом Минстроя России N 763/пр от 28.11.2018).
5. Ахметова И.Г., Лапин К.В. Исследование нестационарных процессов теплообмена в тепловых сетях централизованного теплоснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2022. Т. 14. № 3 (55). С. 13-26.
6. Приказ Минэнерго России от 19.06.2003 N 229 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации" (Зарегистрировано в Минюсте России 20.06.2003 N 4799).
7. Рожков Р.Ю. Методика плавного регулирования температуры теплоносителя на выходных коллекторах энергоисточников. Журнал «Новости теплоснабжения» N 02 (150) 2013 г.
8. Панферов В.И., Гавей О.Ф. Об оптимальном управлении температурой теплоносителя в тепловых сетях. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. N 4. Т. 14. 2014 г.
9. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНИП 23-01-99* (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 275) (ред. от 17.11.2015).
10. Приказ Минэнерго России от 30.12.2008 N 325 «Об утверждении порядка определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя».
11. Горинов Ю.А., Анисимов П.Н. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики // Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения модернизацией ИТП. Т. 24, № 3 (2022) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-3-101-111>.
12. Халлыев И., Гильфанов К.Х. Снижение стоимости теплоснабжающей системы теплоснабжения путем замены коллектора первого контура. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики // 2020. Т. 22. № 1. С. 28-37. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-1-28-37>.
13. Гильфанов К.Х., Якимов Н.Д., Минвалеев Н.Ю., и др. Нестационарные трение и теплообмен в начальном участке трубопровода при сбросе тепловой нагрузки. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики // 2018. Т.20. № 5-6. С.22-28. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-22-28>.
14. Афанасьев В.В., Ковалев В.Г., Тарасов В.А., и др. Исследование нестационарных тепловых режимов отопления зданий и сооружений. Вестник ЧувГУ. 2017. №1.С 20-28.
15. Паулаускайте Сабина, Валанчюс Кястутис. Материалы Международной наудотехнической конференции «Теоретические основы теплогаснабжения и вентиляции», 23 – 25 ноября 2021, МГСУ.
16. Matthias Finkenrath, Till Faber, Fabian Behrens, Stefan Leiprecht. Holistic modelling and optimisation of thermal load forecasting, heat generation and plant dispatch for a district heating network. V.250, 1 July 2022, 23666. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123666>.
17. Hjörleifur G. Bergsteinsson, Phillip B. Vette, Jan Kloppenborg Møller, Henrik Madsen. Energy Conversion and Management. Estimating temperatures in a district heating © Ахметова И.Г., Лапин К.В. 21 network using smart meter data. V. 269, 1 October 2021, 116113. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116113>.
18. Бирюлин В.И., Куделина Д.В. Разработка модели для анализа способов снижения несимметрии напряжений в системах электроснабжения // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т.24. №2. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-2-73-86>.
19. Sophie Knöttner, b Benedikt Leitne, René Hofmann. Impact of recent district heating developments and low-temperature excess heat integration on design of industrial energy systems: An integrated assessment method. Energy Conversion and Management. Volume 263 , 1 July 2022 , 115612. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115612>

Авторы публикации

Ахметова Ирина Гареевна – д-р. техн. наук, доцент, проректор по развитию и инновациям, Казанский государственный энергетический университет.

Лапин Константин Викторович – аспирант, Казанский государственный энергетический университет, начальник отдела реализации, балансов и анализа потерь тепловой энергии АО «Татэнерго».

References

1. Order of the Ministry of Energy of Russia dated 24.03.2003 N 115 «On Approval of the Rules for Technical Operation of Thermal Power Units» (registered with the Ministry of Justice of Russia on 02.04.2003 N 4358).
2. Gosstroy RF order from 13.12.2000 N 285 «On Approval of the standard instruction for the technical operation of heating networks of public district heating systems».
3. RD 153-34.0-20.507-98. Standard instruction for technical operation of heat transport and distribution systems (approved by RAO «UES of Russia» 06.07.1998).
4. SP 131.13330.2018 «SNIP 23-01-99* Construction Climatology» (approved by Order of the Ministry of Construction of Russia N 763/pr of 28.11.2018).

5. Akhmetova IG, Lapin KV. Investigation of non-stationary heat exchange processes in thermal networks of centralized heat supply. *Bulletin of Kazan State Energy University*. 2022;14(3(55)):13-26.
6. Order of the Ministry of Energy of Russia N 229 dated 19.06.2003 «On Approval of the Rules for Technical Operation of Electrical Power Plants and Networks of the Russian Federation» (registered with the Ministry of Justice of Russia on 20.06.2003, N 4799).
7. Rozhkov R.Y. Methodology of Smooth Regulation of Heat Carrier Temperature at the Output Collectors of Energy Sources. *Journal «Heat Supply News»* N 02 (150) 2013.
8. Panferov VI., Gavey OF. On Optimal Management of the Heat Carrier Temperature in Heat Networks. *Vestnik of South Ural State University*. Series: Computer Technologies, Control, Radioelectronics. 2014;4:14.
9. SP 131.13330.2012. *Code of practice. Building Climatology*. Revised edition of SNiP 23-01-99* (approved by Order No. 275 of the Ministry of Regional Development of Russia dated 30.06.2012) (as amended on 17.11.2015).
10. Order of the Ministry of Energy of Russia dated 30.12.2008 N 325 «On Approval of the Procedure of Determination of Technological Losses during Heat and Heat Carrier Transmission».
11. Gorinov YA, Anisimov PN. Proceedings of Higher Educational Institutions. *Problems of power engineering. Raising the efficiency of centralized heat supply systems by means of the modernization of IHS*. T. 24, ISSUE 3 (2022) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-3-101-111>.
12. Khallyev I, Gilfanov KKh. Decrease in cost of the heat-pumping system by means of replacement of a collector of the first contour. *Izvestia of higher educational institutions. Problems of power engineering*. 2020;22(1):28-37. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2020-22-1-28-37>.
13. Gilfanov KH, Yakimov ND, Minvaleev NY, et al. Non-stationary friction and heat exchange in initial section of pipeline at discharge of heat load. Proceedings of higher educational institutions. Problems of Power Engineering. 2018. T.20. № 5-6. C.22-28. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-22-28>.
14. Afanas'ev VV, Kovalev VG, Tarasov VA, et al. Investigation of the non-stationary heat regimes of the heating of buildings and structures. *ChuvSU Vestnik*. 2017;1:20-28.
15. Paulauskaite Sabina, Valancius Kęstutis. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «Theoretical Foundations of Heat and Gas Supply and Ventilation», 23 - 25 November 2021, MSCU.
16. Matthias Finkenrath, Till Faber, Fabian Behrens, et al. Holistic modelling and optimisation of thermal load forecasting, heat generation and plant dispatch for a district heating network. 2022;250:2366. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123666>.
17. Hjörleifur G. Bergsteinsson, Phillip B. Vette, Jan Kloppenborg Møller, Henrik Madsen. Energy Conversion and Management. Estimating temperatures in a district heating system. Akhmetova IG, Lapin KV. 21 network using smart meter data. V. 269, 1 October 2021, 116113. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116113>.
18. Biriulin VI, Kudelina DV. Model development for the analysis of methods of voltage unsymmetry decrease in the power supply system). *Izvestia of higher educational institutions. Problems of power engineering*. 2022;24:2. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-2-73-86>.
19. Sophie Knöttner, b Benedikt Leitne, René Hofmann. Impact of recent district heating developments and low-temperature excess heat integration on design of industrial energy systems: An integrated assessment method. *Energy Conversion and Management*. 2022;263:115612. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115612>

Authors of the publication

Irina G. Akhmetova – Vice-Rector for Development and Innovation, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Konstantin V. Lapin – Postgraduate student, Kazan State Power Engineering University, Head of the Department of Sales, Balances and Analysis of Thermal Energy Losses of JSC Tatenergo, Kazan, Russia.

Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Получено 15.06.2023 г.

Отредактировано 20.06.2023 г.

Принято 06.07.2023 г.