

ЦИФРОВИЗАЦИЯ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Ахметова* И.Г., Лапин** К.В., Ахметов*** Т.Р., Бальзамова**** Е.Ю.

Аннотация

В работе рассматривается вопрос повышения надежности тепловых сетей за счет своевременного обнаружения отклонений фактических эксплуатационных условий от нормативных – участков тепловой сети находящихся во влажной среде, интенсифицирующей процессы наружной коррозии металла. Предложено использование программного комплекса в режиме реального времени анализирующего и оповещающего об условиях эксплуатации тепловых сетей, отклонениях от нормативных значений. Разработана методика для автоматизированного расчета нормативных значений температуры теплоносителя.

Ключевые слова: теплоснабжение, цифровизация, тепловые сети, надежность, потери тепловой энергии, программный комплекс по определению надежности.

Введение

Надежность является комплексным свойством объекта, которое в зависимости от назначения этого объекта и условий его эксплуатации может включать несколько единичных свойств. Единичными свойствами тепловых сетей являются живучесть и долговечность. Они обеспечиваются тремя неотъемлемыми друг от друга составляющими: защита, обнаружение и ответные действия. Здесь важной задачей является своевременное обнаружение очагов коррозии трубопроводов.

В условиях городской застройки трубопроводы тепловых сетей прокладываются преимущественно в подземном исполнении. Статистически наиболее значимой причиной выхода из строя тепловых сетей является наружная коррозия металла, к которой, в свою очередь, чаще всего приводит нахождение трубопроводов тепловых сетей в увлажненной среде или, попросту, в воде при затоплении канала или подъеме грунтовых вод выше залегания трубопроводов, проложенных бесканальным способом.

* Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, e-mail: irina_akhmetova@mail.ru

** АО «Татэнерго», г. Казань, Республика Татарстан, Россия, e-mail: lapinkv@tatenergo.ru

*** АО «Казэнерго», г. Казань, Республика Татарстан, Россия, e-mail: timurnaladka@mail.ru

**** Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, e-mail: balzamova@mail.ru

В свою очередь, влажность (затопление) покровного слоя тепловой изоляции трубопроводов участка теплосети обусловлено факторами, к основным из которых следует отнести: протечки поверхностных вод через негерметично закрывающиеся крышки люков, утечки теплоносителя через сальниковые уплотнения задвижек и компенсаторов, разрушенные перекрытия каналов. При конвекции воздуха на перекрытиях тепловых камер, прилегающих частях канала, а также на плоскостях щитовых опор, имеющих температуру ниже точки росы, происходит конденсация влаги с последующим образованием капли, в результате чего происходит сосредоточенное в отдельных местах увлажнение теплоизоляционных конструкций, вызывающее коррозию металла труб.

Традиционные способы увеличения надежности работы тепловых сетей, такие как гидравлические испытания сетей на прочность и плотность в межотопительный период, капитальные ремонты и реконструкция тепловых сетей не являются инструментами оперативного поиска мест увлажнения тепловой изоляции, а лишь обеспечивают поддержание нормативной надежности. Использование ППУ трубопроводов с системой ОДК решает данную задачу, но темп ввода в эксплуатацию данных трубопроводов не большой в связи с их высокой стоимостью строительства. К примеру, в г. Казани по итогам за 2018 год оснащенность теплосетевого хозяйства ППУ – трубопроводами составила 42%.

Решение задачи повышения надежности работы тепловых сетей, сохранения их работоспособности и долговечности не должно ограничиваться заменой, реконструкцией, модернизацией фактически изношенных, аварийных, не прошедших гидравлические испытания участков тепловых сетей.

Не менее важным является поддержание нормативных условий, определяющих долговечность трубопроводов, в процессе их эксплуатации, а именно в течение отопительного периода.

Показателем, свидетельствующим о нахождении трубопровода во влажной среде, может служить снижение температуры теплоносителя в конце участка ниже нормативных значений, как следствие увеличения потерь тепловой энергии. Влияние увлажнения тепловой изоляции на величину тепловых потерь приведено в [1,2] и оценивается увеличением последних в 2–4 раза.

Для целей оперативного поиска мест повышения влажности тепловой изоляции, предлагается решение по разработке программного продукта.

Для разработки программного продукта необходимыми являются 2 условия: 1) наличие на источнике тепловой энергии и у потребителей приборов учета тепловой энергии, оснащенных средствами дистанционной передачи данных; 2) наличие системы автоматизированного сбора и хранения данных.

В соответствии с требованиями [3] за последние годы количество

приборов учета у потребителей значительно увеличилось: в зоне обслуживания АО «Татэнерго» (Казань, Республика Татарстан) на сегодняшний день свыше 98% потребления тепловой энергии определяется с помощью коммерческих приборов учёта, из которых более 60% оснащены средствами дистанционной передачи данных в автоматизированную систему сбора данных компании.

Информация, передаваемая в создаваемый программный продукт, состоит из двух температурных полей от источника тепловой энергии до потребителей: по подающему (Т1) и по обратному (Т2) трубопроводам.

Для автоматизированного выявления ненормативных условий эксплуатации трубопроводов в онлайн режиме необходимо задать диапазон температур у потребителей соответствующий норме, с учетом времени прохождения температурной волны. Задачей расчета является обеспечение возможности автоматизированного определения нормативной температуры теплоносителя у потребителя, с учетом температуры теплоносителя на выходе из источника теплоснабжения и нормативных потерь тепловой энергии в тепловых сетях.

При прочих равных условиях (постоянном расходе теплоносителя, неизменных конструктивных характеристик тепловой сети) соблюдаются следующие зависимости:

$$Q_{\text{пот}} = f(T_{\text{ТН}}, T_{\text{НВ}}) \quad (1)$$

где $Q_{\text{пот}}$ – потери тепловой энергии на участке тепловой сети, Гкал/ч; $T_{\text{ТН}}$ – температура теплоносителя, С°; $T_{\text{НВ}}$ – фактическая температура наружного воздуха, С°.

В свою очередь:

$$T_{\text{ТН}} = f(T_{\text{НВ}}) \quad (2)$$

В соответствии с [2] температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе тепловой сети, а также после узла смешения потребителя, в зависимости от температуры наружного воздуха определяются по формулам:

$$t_1 = (1 + u_p)t_3 - u_p t_2 \quad (3)$$

$$t_3 = t_{\text{в}} + 0,5(t_{3\text{р}} - t_{2\text{р}}) \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{нр}}} + 0,5(t_{3\text{р}} + t_{2\text{р}} + 2t_{\text{в}}) \left(\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{нр}}} \right)^{\frac{1}{1+n}} \quad (4)$$

$$t_2 = t_3 - (t_{3\text{р}} - t_{2\text{р}}) \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{нр}}} \quad (5)$$

где t_1, t_2, t_3 – температура теплоносителя в подающем, обратном трубопроводе тепловой сети, после узла смешения на вводе потребителя при температуре наружного воздуха соответствующей $t_{\text{н}}$, С°; u_p – расчетный коэффициент смешения; $t_{\text{в}}$ – расчетная температура воздуха внутри помещений, С°; $t_{\text{нр}}$ – расчетная температура наружного воздуха на отопление, С°; индекс «р» относится к параметрам на расчетные условия.

В тепловых сетях АО «Татэнерго» (г. Казань) применяется температурный график 135/65 С°, таблица температур приведена на рис. 1.

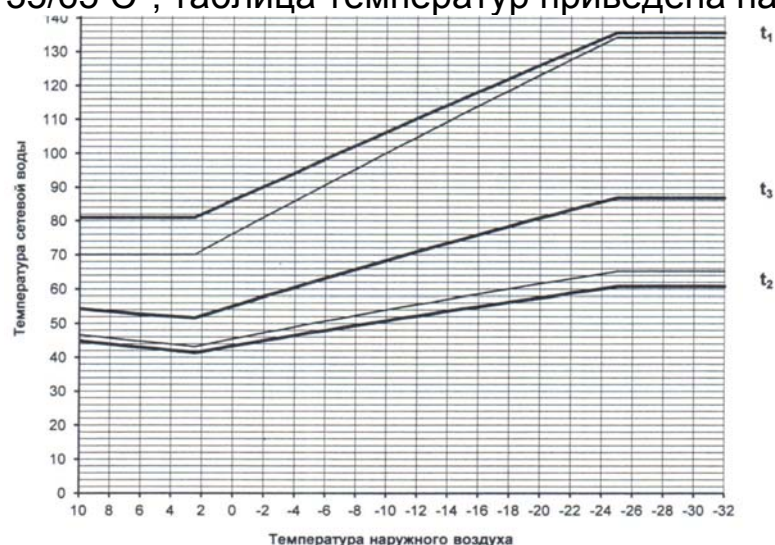


Рис. 1 - Температурный график тепловых сетей АО «Татэнерго», г. Казань.

Методика расчета величины нормативных тепловых потерь при надлежащем состоянии тепловой изоляции и нормальных условиях эксплуатации тепловых сетей приведена в [4]. К нормативам технологических потерь относятся потери и затраты энергетических ресурсов, обусловленные техническим состоянием теплопроводов и оборудования, а также техническими решениями по надежному обеспечению потребителей тепловой энергией и созданию безопасных условий эксплуатации тепловых сетей. Сюда относятся: потери и затраты теплоносителя (пар, конденсат, вода) в пределах установленных норм; потери тепловой энергии теплопередачей через теплоизоляционные конструкции теплопроводов вместе с потерями и затратами теплоносителя.

Определение нормативных технологических потерь тепловой энергии, Гкал, обусловленных потерями теплоносителя, производится по формуле:

$$Q_{y.n} = m_{y.n} \rho_o c [b\tau_1 + (1 - b)\tau_2 - \tau_x] n \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где $m_{y.n}$ – норма потерь теплоносителя, обусловленных утечкой, м³/ч; ρ_o – плотность теплоносителя при средней температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, кг/м³; b – доля массового расхода теплоносителя, теряемого подающим трубопроводом тепловой сети; τ_1 и τ_2 – средние значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по температурному графику регулирования тепловой нагрузки, С°; τ_x – среднегодовое значение температуры исходной воды, подаваемой на источник теплоснабже-

ния и используемой для подпитки тепловой сети, $С^{\circ}$; c – удельная теплоемкость теплоносителя, $\text{ккал/кг } С^{\circ}$; n – продолжительность функционирования тепловых сетей, ч.

Нормативный технологический расход тепловой энергии на заполнение новых участков трубопроводов и после плановых ремонтов, Гкал, определяется по формуле:

$$Q_{\text{зап}} = 1,5V_{\text{тр.з}}\rho_o c[\tau_{\text{зап}} - \tau_x] \cdot 10^{-6}, \quad (7)$$

где $V_{\text{тр.з}}$ – емкость заполняемых трубопроводов тепловых сетей, эксплуатируемых теплосетевой организацией, м^3 ; ρ_o – плотность воды, используемой для заполнения, кг/м^3 ; $\tau_{\text{зап}}$ – температура воды, используемой для заполнения, $С^{\circ}$; τ_x – температура исходной воды, подаваемой на источник тепловой энергии «х» в период заполнения, $С^{\circ}$.

Нормативные технологические потери тепловой энергии со сливами из приборов автоматического регулирования и защиты, Гкал, определяются по формуле:

$$Q_{\text{а.н}} = G_{\text{а.н}}\rho_o c[\tau_{\text{сл}} - \tau_x] \cdot 10^{-6}, \quad (8)$$

где $G_{\text{а.н}}$ – годовые потери теплоносителя в результате слива, м^3 ; ρ_o – среднегодовая плотность теплоносителя в зависимости от места установки автоматических приборов, кг/м^3 ; $\tau_{\text{сл}}$ и τ_x – температура сливаемого теплоносителя и исходной воды, подаваемой на источник теплоснабжения в период слива, $С^{\circ}$.

Анализ данных формул приводит к выводу о том, что при неизменных условиях эксплуатации величина потерь тепловой энергии, обусловленных потерями и затратами теплоносителя находится в прямой зависимости от температуры теплоносителя.

Определение нормативных технологических потерь тепловой энергии теплопередачей через теплоизоляционные конструкции трубопроводов производится на базе значений часовых тепловых потерь в зависимости от года проектирования трубопроводов, Гкал:

$$Q_{\text{из.н.год}} = \sum(q_{\text{из.н}}L \cdot \text{Бета})n \cdot 10^{-6}, \quad (9)$$

где $q_{\text{из.н}}$ – удельные часовые тепловые потери трубопроводами каждого диаметра, определенные пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднесезонные условия эксплуатации, ккал/чм ; L – длина участка трубопроводов тепловой сети, м; Бета – коэффициент местных тепловых потерь (принимается равным 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 – при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки, независимо от года проектирования), учитывающий тепловые потери запорной и другой арматурой, компенсаторами и опорами.

Таким образом, изменение величины тепловых потерь для конкретного участка тепловой сети в течение отопительного периода связано только с изменением температуры теплоносителя, в связи с изменением температуры наружного воздуха.

Температура теплоносителя в конце участка тепловой сети, $^{\circ}\text{C}$ при нормативной величине тепловых потерь:

$$t_k = t_n - (Q_{\text{пот}} / Gn) \quad (10)$$

где t_n – температура теплоносителя в начале участка $^{\circ}\text{C}$; $Q_{\text{пот}}$ – величина нормативных тепловых потерь, пересчитанная на фактическую температуру теплоносителя в начале участка, Гкал; G – расчетный расход теплоносителя на участке тепловой сети, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Значение расчетного расхода теплоносителя по каждому участку принимается по результатам гидравлического расчета.

В свою очередь зависимость величины тепловых потерь от температуры теплоносителя определена по формулам (6)–(9) и методом наименьших квадратов:

$$Q_{\text{пот}} = f(t_n) = Q_{\text{пот}}^{\text{max}} \frac{(-3,85 + 0,77t_{\text{TH}}^{\Phi}) + (37,57 + 0,46t_{\text{TH}}^{\Phi})}{100 \cdot 2} n \quad (11)$$

где $Q_{\text{пот}}^{\text{max}}$ – расчетная максимальная величина тепловых потерь по участку тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха на отопление, принимаемая по расчету в соответствии с [4], Гкал/ч; t_{TH}^{Φ} – фактическая температура теплоносителя в начале участка в текущий момент времени, $^{\circ}\text{C}$.

В течение отопительного сезона температура теплоносителя изменяется в зависимости от температуры наружного воздуха. Изменение температуры теплоносителя в конце участка происходит с запаздыванием по отношению к изменению температуры в начале участка на время прохождения температурной волны.

Формула приобретает вид:

$$t_k = t_{\text{TH}}^{\Phi} - Q_{\text{пот}}^{\text{max}} \frac{(33,72 + 0,3542t_{\text{TH}}^{\Phi})}{200G} \pm \Delta t_{\text{H}}^{\tau} \quad (12)$$

где $\Delta t_{\text{H}}^{\tau}$ – разница температур теплоносителя в начале участка с учетом времени прохождения температурной волны, G – расход теплоносителя по участку, принимаемый по данным гидравлического расчета, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Время прохождения температурной волны определяется по статистическим данным фактического распределения температур теплоносителя в разных точках исследуемой тепловой сети на рис. 2, табл. 1.

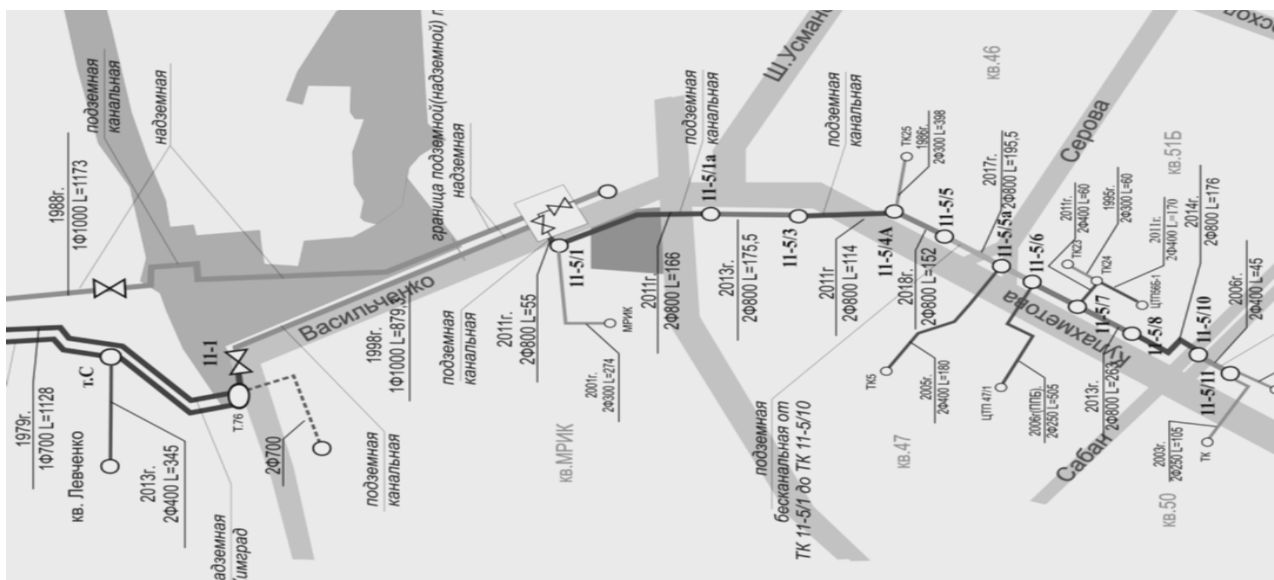


Рис. 2 – Схема исследуемого участка теплосети.

Таблица 1. Расчет времени прохождения теплоносителя (методом фиксации прохождения температурной волны во времени) от П-16

Точка измерения	Время прохождения теплоносителя, мин.
ул. Ш. Усманова, д.33	58,3
ул. Ш. Усманова, д.33/1	35,1
ул. Ш. Усманова, д.33/2	59
ул. Серова, 6/1	45,66
ул. Кулахметова, 22	49,2
ул. Бакалейная, 44а	54,09
Ул. Батыршина, 16	124,7
Ул. Батыршина, 22	225,1
ул. Сабан, 7а	57,6

Описание блоков (модулей) цифрового продукта

Схематично цифровой продукт можно разделить на блоки (модули), каждый из которых будет выполнять определенную задачу.

Блок №1. Входные параметры теплоносителя от источника тепловой энергии и в точках отпуска тепловой энергии потребителям.

Под источником тепловой энергии понимается элемент теплосети (ТЭЦ, котельная, тепловая камера и т.п.), являющийся точкой отсчета первоначальной температуры теплоносителя Т1 по отношению к которой производится программный анализ потерь тепловой энергии (отклонений температуры теплоносителя от нормируемого значения).

Точки сбора параметров теплоносителя: тепловые выводы ТЭЦ, тепловые выводы котельной; павильоны тепловых сетей; тепловые камеры; смотровые камеры; узловые точки теплосети; объекты потребителей.

Входной параметр: температура теплоносителя в подающем (Т1) и в обратном (Т2) трубопроводах тепловой сети.

Дискретность автоматизированного сбора параметров: в зависимости от типа и масштаба системы теплоснабжения, но не реже 1 раза в сутки. Массив входных параметров хранится на сервере системы дистанционного сбора показаний параметров тепловой энергии с привязкой к объекту теплоснабжения потребителя (с указанием адреса объекта).

Блок №2. Сопряжение входных параметров с объектами теплоснабжения на карте района тепловых сетей.

В блоке предусматривается интерактивная карта объектов теплоснабжения района тепловых сетей с привязкой к ней: источников тепловой энергии, контрольных приборов учета параметров теплоносителя в отдельных элементах тепловой сети, объектов абонентов.

Блок №3. Анализ отклонения текущих входных параметров от нормы, оценка надежности теплоснабжения потребителей с построением математической модели параметров работы теплосети (рис.3).

Анализ отклонения текущих входных параметров от нормы производится по каждому объекту теплоснабжения потребителей.

Анализ основан на том, что в процессе транспортировки теплоносителя от источника тепловой энергии до объекта теплоснабжения потребителей неизбежно возникают технологические потери тепловой энергии, вследствие чего происходит снижение температуры теплоносителя. Темп снижения температуры теплоносителя рассчитывается исходя из уровня нормируемых значений потерь тепловой энергии в подающих линиях теплосети через изоляционные конструкции трубопроводов при неизменном режиме расхода теплоносителя в сети.

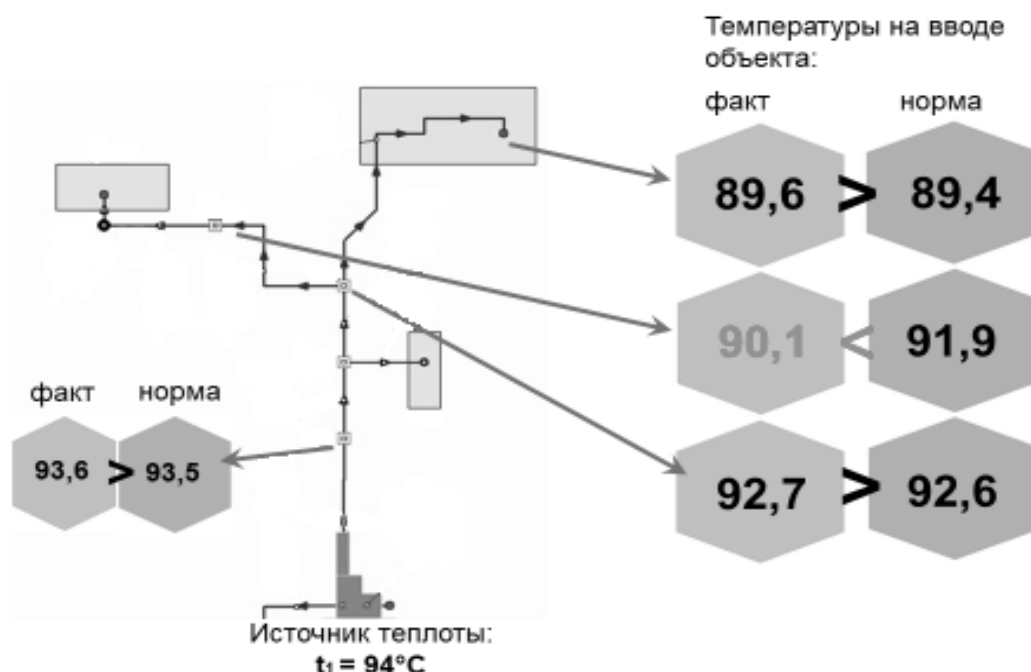


Рис. 3 – Схема анализа отклонения текущих входных параметров от нормы.

Для группировки множества полученных значений отклонений фактической температуры теплоносителя от её нормируемого значения вво-

дится безразмерный параметр φ , показывающий существенность отклонения температуры, определяемый по формуле:

$$\varphi = (t_k^{\Phi} - t_k) / \mu \quad (13)$$

где t_k^{Φ} – фактическая температура теплоносителя в конце участка, С°, μ – коэффициент существенности отклонения, численно равен количеству градусов Цельсия, отклонение на величину которых является существенным.

Возможны следующие группы состояний объекта, представленные в табл. 2.

Блок №4. Визуализация информации о точках образования сверхнормативных потерь тепловой энергии, показателей надежности теплоснабжения потребителей и проблемного участка теплосети. Каждый объект в интерактивной карте должен отображаться в виде динамически изменяющегося цветного элемента, например,

- для слоя Т1 по убыванию φ от черного до красного цвета;
- для слоя Т2 по возрастанию от зеленого до желтого цвета.

Таблица 2. Верификация состояний объекта

Значение φ	Состояние теплоснабжения	Характеристика системы теплоснабжения
$\varphi \geq 0$	нарушение слоя тепловой изоляции отсутствует	температура теплоносителя в подающей линии отклонена от температуры на источнике тепловой энергии соразмерно нормативному значению отклонения (сверхнормативные потери тепловой энергии не возникают)
$-1 \leq \varphi < 0$	нарушение слоя тепловой изоляции имеется	состояние теплоснабжения со сверхнормативными потерями тепловой энергии (недопоставка тепловой энергии не возникает)
$-2 \leq \varphi < -1$	увлажнение слоя тепловой изоляции	теплоснабжение со сверхнормативными потерями тепловой энергии (возникает недопоставка тепловой энергии)
$-\frac{t_k}{\mu} \leq \varphi < -2$	сильное увлажнение слоя тепловой изоляции	температура теплоносителя не достаточна для теплоснабжения (значительные сверхнормативные потери тепловой энергии)

Визуализация предусматривается на интерактивной карте района тепловых сетей с привязкой к объектам теплоснабжения.

Для персонала предприятия должна быть предусмотрена возможность работать в «Интерактивной карте» г. Казани: нажав курсором на необходимый элемент тепловой сети - получить необходимую информацию в текущем режиме по фактическим параметрам теплоносителя на выбранных участках тепловой сети, собранных с контрольных приборов учета, установленных на коллекторах станций, на границах разделов тепловодов, энергорайонов, кварталах, в тепловых камерах объектов, а

также нормативным параметрам.

Блок №5. Архивация данных и отчетность по участкам теплосети, где параметры теплоносителя.

Данный блок продукта содержит статистику параметров теплоносителя, данные анализа параметров теплоносителя и возникших состояниях в тепловых сетях и на объектах потребителей.

Заключение

Задача своевременного выявления участков трубопроводов тепловых сетей, находящихся в ненормативных условиях эксплуатации, с последующим устранением угрозы надежности является актуальной задачей для теплоснабжающих организаций.

Предлагается внедрение программного комплекса, который на основании показаний приборов учета тепловой энергии у потребителей и на источнике тепловой энергии, позволит в режиме реального времени выявлять ненормативных условия эксплуатации – увлажнение трубопроводов тепловой сети.

Разработана методика определения нормативных температур теплоносителя у потребителей.

Применение цифрового продукта позволяет повысить надежность теплоснабжения потребителей путем своевременного выявления мест увлажнения тепловой изоляции, а также может быть использован для подготовки плана шурфовок сетей в межотопительный период для исследования степени утонения трубопроводов теплосети.

Литература

1. В.В. Иванов, В.В. Иванов, В.В. Василенко. Влияние увлажнения изоляции и грунта на тепловые потери подземных теплотрасс. Энергосовет № 7 (12), 2010, с. 27.

2. Николаенко Р. А., Ермоленко М. В., Степанова О. А. Влияние увлажнения тепловой изоляции на величину тепловых потерь тепловых сетей // Молодой ученый. 2014, №6. с. 207-210. URL <https://moluch.ru/archive/65/10655/> (дата обращения: 21.09.2019).

3. Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. №261-ФЗ.

4. Приказ Минэнерго России от 30.12.2008 N 325 «Об утверждении порядка определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии, теплоносителя».

5. Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хиж Э.Б., Манюк А.И., Ильин В.К. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей 3-е издание переработанное и дополненное. Москва. Стройиздат, 1988 г.