Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 697.34

МИНИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ ПУТЁМ ОПТИМИЗАЦИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ УЗЛА ВОДОРАЗДЕЛА

Веселова Н.М., Карапузова Н.Ю., Кондауров П.П., Жупанов А.И.

Волгоградский Государственный технический университет.
Институт архитектуры и строительства
400074, РФ, г. Волгоград, ул. Академическая 1.
e-mail: aist@vgasu.ru

Аннотация. В работе предложен энергоэффективный подход к снижению тепловых потерь в условно замкнутых тепловых сетях городского теплоснабжения путём оптимизации местоположения узла водораздела без капитальных вложений в реконструкцию трубопроводов.

Предмет исследования. Исследуется проблема неоптимального расположения узла водораздела в условно замкнутых тепловых сетях, которое при проектировании часто определяется без учёта тепловых потерь. Анализируется взаимосвязь между положением узла водораздела, величиной тепловых потерь (через теплоизоляцию и с утечками теплоносителя) и гидравлическим режимом сети при двухстороннем питании.

Материалы и методы. Разработана методика поиска оптимального положения узла водораздела на основе минимизации приведённых затрат, где основной переменной выступают тепловые потери. Метод включает: составление дифференциального уравнения для бесконечно малого участка трубопровода с учётом распределённого расхода теплоносителя; формирование условия минимума тепловых потерь при соблюдении баланса гидравлических потерь в обеих линиях сети (с учётом коэффициента местных сопротивлений $z = 0{,}01$).

Результаты. На примере тепловой сети села Новое Горяново Ивановской области (длины участков до водораздела: $L_1 = 390$ м, $L_2 = 362$ м; распределённые расходы: $g_{01} = 0{,}113$ кг/(с·м), $g_{02} = 0{,}138$ кг/(с·м)) показано: перенос узла водораздела в здание № 14 (расстояние $L_x = 24{,}31$ м от исходной точки) позволяет снизить тепловые потери на 2,12% (с 25,10 до 24,57 кВт); изменение гидравлического режима незначительно: невязка потерь давления составляет 4,17%, что не нарушает гидравлическую устойчивость системы;

Выводы. Оптимизация местоположения узла водораздела является эффективным инструментом повышения энергоэффективности существующих тепловых сетей без капитальных затрат. Предложенная методика позволяет достичь снижения тепловых потерь при минимальном влиянии на гидравлический режим, что подтверждено практическим расчётом на реальном объекте. Подход применим для реконструкции и эксплуатации условно замкнутых систем теплоснабжения с целью экономии энергоресурсов и повышения надёжности.

Ключевые слова: условно замкнутая тепловая сеть, узел водораздела, потери тепловой энергии, гидравлический режим, теплоизоляция трубопроводов, распределённая тепловая нагрузка.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение энергетической эффективности тепловых сетей за счет снижения износа и повышения надежности является одним из наиболее перспективных и комплексных подходов к снижению тепловых потерь. Снижение износа теплоизоляции тепловых сетей напрямую связано с уменьшением теплопотерь в окружающую среду, а устранение утечек приводит не только к снижению потере тепла, но и к уменьшению потерь самого ресурса (воды).

Аварии на тепловых сетях часто ведут к резкому увеличению тепловых потерь, остановкам подачи тепла и необходимости экстренных мер, которые могут быть менее энергоэффективными. Повышение надежности позволяет устранить некоторые проблемы, связанные с потерями теплоты.

Надежность тепловых сетей обуславливается взаимным резервирование источников тепловой энергии [1, 2]. Условно замкнутые тепловые сети, несмотря на высокие первичные капитальные затраты, отличаются энергоэффективностью за счет снижения ущерба из-за недоотпуска тепловой энергии [3, 4]. Данные сети позволяют осуществлять работу котельных в относительно планово-установившихся режимах.

Место установки узла водораздела условно замкнутых тепловых сетей может быть не всегда рациональным и оправданным, так как при проектировании и строительстве тепловых узлов размыкания и кольцующих перемычек для сетевого резервирования экономия потерь тепловой энергии не учитывалась [4]. Между тем путем перемещения узла водораздела при сохранении гидравлического режима в оптимальную по тепловым потерям точку можно отрегулировать тепловой режим на отдельных участках тепловой чети. Очевидно, что отыскания оптимального места водораздела условно-замкнутых сетей должно основываться на критерии минимизации приведенных затрат,

основной переменной частью которых является потери тепловой энергии. В связи с этим методика отыскания оптимального места водораздела условно-замкнутых тепловых сетей нуждается в совершенствовании.

Целью работы являлась разработка метода и отыскание средств снижения тепловых потерь за счет переноса узла водораздела в условно замкнутых городских сетях теплоснабжения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Потери теплоты на участке тепловой сети складываются из потерь через теплоизоляционные конструкции и потерь с утечками теплоносителя [5–8].

Значение технологических тепловых потерь на участке тепловой сети определяется с учетом нормированной среднегодовой утечки [9]:

$$Q_{y.m} = a \cdot G_i \cdot c_в \cdot \Delta\tau, \qquad (1)$$

где a – норма среднегодовой утечки теплоносителя, м^3/(ч·м^3), устанавливается правилами технической эксплуатации и составляет в пределах 0,25% среднегодовой емкости трубопроводов тепловых сетей в час; G_i – среднегодовая емкость трубопроводов тепловых сетей по теплоносителю, кг/с; $c_в$ = 4185 Дж/(кг·град) – теплоемкость теплоносителя; $\Delta\tau = (\tau_к - t_о)$ – температурный напор между теплоносителем и окружающей средой.

В работе [10-13] были рассмотрены расчетные потери тепловой энергии для водяных тепловых сетей. С учетом утечек для участка трубопровода потери могут быть определены:

$$Q_p = 0{,}5K \cdot L \cdot \Delta\tau + \\ +0{,}5\sqrt{(K \cdot L \cdot \Delta\tau)^2 + 3{,}99 \cdot G \cdot c \cdot K \cdot L} \qquad (2)$$

Также было сформулировано понятие распределенного расхода теплоносителя при равномерно распределенной нагрузке магистрального трубопровода от источника к удаленному потребителю, согласно которому потери теплоты может быть представлено в следующем виде:

$$Q_m = 0{,}5 \cdot k_\varpi \cdot g_i^\varpi L_i^{\varpi+1} \cdot \Delta\tau + \\ +0{,}5\sqrt{[k_\varpi \cdot g_i^\varpi L_i^{\varpi+1} \cdot \Delta\tau]^2 + 3{,}99 \cdot c_в \cdot k_\varpi \cdot g_i^{\varpi+1} L_i^{\varpi+2}}, \qquad (3)$$

где k_ϖ – удельный коэффициент теплопередачи при $\varpi = 0$, кВт/(м^3·°С); ϖ – показатель степени функции $K = f(G)$; g_i – распределенный расход по длине трубопровода, кг/(с·м).

На рис. 1 дана схема установки переустановки узла водораздела для тепловой сети, имеющей двухстороннее питание, из позиции «0» в позицию «Х». Поставим задачу определения длину участка переноса l_x при условии достижения при этом минимальных тепловых потерь в обеих линиях тепловой сети. В этих линиях могут существовать отличающиеся распределенные нагрузки.

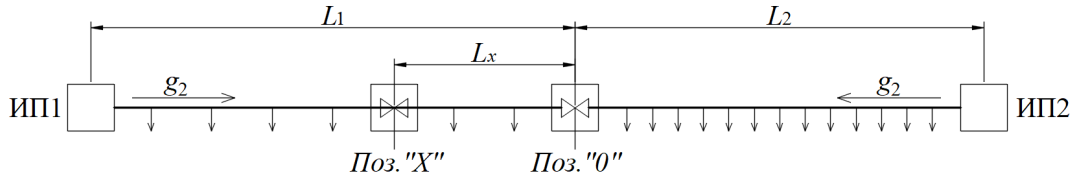


Рис. 1. Перенос теплового узла водораздела в новую точку размыкания «Х» (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Transfer of the thermal unit of the watershed to a new opening point "X" (illustration by the authors)

Данная задача в таком общем виде еще не решалась. Потери тепловой энергии до переноса точки водораздела в линиях с длинной l_1 и l_2 равны $Q_{m1} = Q_{m2}$, так как предполагается, что моменты расходов и гидравлические потери равны,

$$\begin{cases} Q_{m1} = 0{,}5 \cdot k_\varpi \cdot g_1^\varpi L_1^{\varpi+1} \cdot \Delta\tau + \\ +0{,}5\sqrt{[k_\varpi \cdot g_1^\varpi L_1^{\varpi+1} \cdot \Delta\tau]^2 + 3{,}99 \cdot c_в \cdot k_\varpi \cdot g_1^{\varpi+1} L_1^{\varpi+2}}; \\ Q_{m2} = 0{,}5 \cdot k_\varpi \cdot g_2^\varpi L_2^{\varpi+1} \cdot \Delta\tau + \\ +0{,}5\sqrt{[k_\varpi \cdot g_2^\varpi L_2^{\varpi+1} \cdot \Delta\tau]^2 + 3{,}99 \cdot c_в \cdot k_\varpi \cdot g_2^{\varpi+1} L_2^{\varpi+2}}. \end{cases} \qquad (4)$$

Считаем, что после переноса точки водораздела часть линии L_1 длиной L_x отходит к линии L_2. Новый расход теплоносителя по линии L_2 будет складываться из $G_{2x} = G_2 + G_x$, причем составляющие нагрузки потока G_2 равномерно распределены по длине линии L_2, а поток G_x является для нее сквозным потоком, величина которого определяется длиной L_x: $G_x = g_{01} L_x$.

Составим дифференциальное уравнение для бесконечно малого участка dL (см. рис. 2, (2))

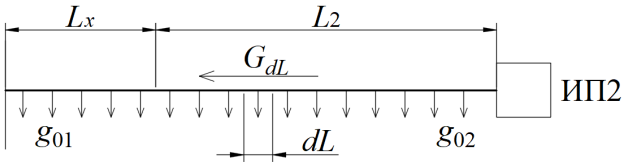


Рис. 2. К составлению дифференциального уравнения
Fig. 2. To create a differential equation

При этом поток, идущий через этот участок, будет равен: $G_{dL} = g_{02}L_2 + g_{01}L_x$. Тепловые потери на этом участке:

$$Q_m = 0{,}5 \cdot k_\varpi \cdot G_{dL}^{\varpi} \cdot \Delta\tau \cdot dL + +0{,}5/1{,}5 \cdot \left(G_{dL}^{2\varpi} \cdot k_\varpi^2 \cdot \Delta\tau^2 \cdot dL + 3{,}99 \cdot c_в \cdot k_\varpi \cdot G_{dL}^{\varpi+1}\right)^{1{,}5} \cdot dL) \quad (5)$$

Заменяя коэффициентами постоянные величины, получим:

$$Q_m = 0{,}5 \cdot a \cdot G_{dL}^{\varpi} \cdot dL + 0{,}5/1{,}5 \cdot \left(a^2 \cdot G_{dL}^{2\varpi} \cdot dL + b \cdot G_{dL}^{\varpi+1}\right)^{1{,}5} \cdot dL \quad (6)$$

Подставляя величину потока G_{dL} и интегрируя от 0 до L_2, получим:

$$Q_{m.2x} = \frac{0{,}5 \cdot a}{g_{02}} \cdot (g_{02} \cdot L_2 + g_{01} \cdot L_x)^{\varpi+1} - \frac{0{,}5 \cdot a}{g_{02}} \cdot g_{01}^{\varpi-1} \cdot L_x^{\varpi-1}$$
$$+0{,}5 \cdot \sqrt{a^2[(g_{02}^{\varpi} \cdot L_2^{\varpi+2} + g_{01}^{\varpi} \cdot L_x^{\varpi} \cdot L_2)]^2 + b \cdot (g_{02}^{\varpi+1} \cdot L_2^{\varpi+3} + g_{01}^{\varpi+1} \cdot L_x^{\varpi+1} \cdot L_2^2)} \quad (7)$$

Для остатка первой линии

$$Q_{m.\Delta1} = 0{,}5 \cdot a \cdot g_{01}^{\varpi} \cdot L_1^{\varpi+1} - 0{,}5 \cdot a \cdot g_{01}^{\varpi} \cdot L_x^{\varpi+1} +$$
$$+0{,}5 \cdot \sqrt{[a \cdot (g_{01}^{\varpi} L_1^{\varpi+1} - g_{01}^{\varpi} L_x^{\varpi+1})]^2 + b \cdot (g_{01}^{\varpi+1} \cdot L_1^{\varpi+2} - g_{01}^{\varpi+1} \cdot L_x^{\varpi+2})}. \quad (8)$$

Для участка L_x

$$Q_{m.x} = 0{,}5 \cdot a \cdot g_{01}^{\varpi} L_x^{\varpi+1} + 0{,}5 \cdot \sqrt{a^2 \cdot [g_{01}^{\varpi} L_x^{\varpi+1}]^2 + b \cdot g_{01}^{\varpi+1} L_x^{\varpi+2}}. \quad (9)$$

Исследуем суммарные относительные потери после переноса $Q_m = Q_{m.2x} + Q_{m.\Delta1} + Q_{m.x}$ на минимум по классической методике,

$$\frac{dQ_m}{dL_x} = 0.$$

В результате получаем условие минимума потерь тепловой энергии:

$$0{,}5 \cdot a \cdot (\varpi+1) \cdot \frac{g_{01}}{g_{02}} \cdot (g_{02}L_2 + g_{01}L_x)^{\varpi} - 0{,}5 \cdot a \cdot (\varpi-1) \cdot \frac{g_{01}^{\varpi-1}}{g_{02}} \cdot L_x^{\varpi-2} +$$
$$+0{,}25 \cdot \frac{a^2 \cdot \varpi \cdot (2g_{02}^{\varpi} L_2^{\varpi+3} L_x^{\varpi-1} + 2g_{01}^{2\varpi} L_2^2 L_x^{2\varpi-1}) + b(\varpi+1) \cdot g_{01}^{\varpi+1} L_2 L_x^{\varpi}}{\sqrt{a^2 \cdot (g_{02}^{2\varpi} L_2^{2\varpi+4} + 2g_{01}^{\varpi} g_{02}^{\varpi} L_2^{\varpi+3} L_x^{\varpi} + g_{01}^{2\varpi} L_2^2 L_x^{2\varpi}) + b(g_{02}^{\varpi+1} L_2^{\varpi+3} + g_{01}^{\varpi+1} L_2 L_x^{\varpi+1})}} +$$
$$+0{,}25 \cdot \frac{a^2 \cdot \varpi \cdot (2g_{01}^{\varpi} L_1^{\varpi+1} L_x^{\varpi-1} - 2g_{01}^{2\varpi} L_x^{2\varpi-1}) - b(\varpi+2) \cdot g_{01}^{\varpi+1} L_2 L_x^{\varpi+1}}{\sqrt{a^2 \cdot (g_{01}^{2\varpi} L_1^{2\varpi+2} - 2g_{01}^{\varpi} L_1^{\varpi+1} L_x^{\varpi} + g_{01}^{2\varpi} L_x^{2\varpi+2}) + b(g_{01}^{\varpi+1} L_1^{\varpi+2} - g_{01}^{\varpi+1} L_2 L_x^{\varpi+2})}} + \quad (10)$$
$$+0{,}25 \cdot \frac{a^2(2\varpi+2) \cdot g_{01}^{2\varpi} L_x^{2\varpi+1} + b(\varpi+2) \cdot g_{01}^{\varpi+1} L_x^{\varpi+1}}{\sqrt{a^2 \cdot [g_{01}^{\varpi} L_x^{\varpi+1}]^2 + b \cdot g_{01}^{\varpi+1} L_x^{\varpi+2}}} = 0$$

Также при переносе точки водораздела должно соблюдаться еще одно условие:

$$\Delta P_{01} = \Delta P_{02}, \quad (11)$$

где ΔP – потери давления на участке.

Задаваясь коэффициентом доли потерь давления в местных сопротивлениях по отношению к падению давления на трение для водяных сетей z = 0,01, равенство (11) может быть представлено в следующем виде:

$$\left[L_1 + \sqrt{0{,}01 \cdot L_1^2 \cdot (g_{01}L_1 - g_{01}L_x)}\right] \cdot R_1 = \\ = \left[L_x + \sqrt{0{,}01 \cdot L_x^2 \cdot (g_{01}L_x)}\right]R_x + \left[L_2 + \sqrt{0{,}01 \cdot L_2^2 \cdot (g_{02}L_2 + g_{01}L_x)}\right]R_2, \quad (12)$$

где $R_1 = 699{,}5 \cdot \frac{\omega_1^{2,667}}{(g_{01}L_1 - g_{01}L_x)^{0,667}}$, $R_2 = 699{,}5 \cdot \frac{\omega_2^{2,667}}{(g_{02}L_2 + g_{01}L_x)^{0,667}}$ и $R_x = 699{,}5 \cdot \frac{\omega_2^{2,667}}{(g_{01}L_x)^{0,667}}$ – удельные потери давления на трение на рассматриваемых участках.

Левую и правую части этого равенства можно рассматривать как интегральные потери давления. Исследование выражения (12) на минимум также подтверждает условие минимальных тепловых потерь.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ АНАЛИЗ

Для исследования в качестве математической модели была взята тепловая сеть с. Новое Горяново Ивановской области, представленная на рис. 3.

Для данной сети были определены длины участков до точки водораздела до переноса L_1 = 390 м, L_2 = 362 м, а также распределенные расходы g_{01} = 0,113 кг/(с·м), g_{02} = 0,138 кг/(с·м).

Определение новой позиции точки водораздела для тепловой схемы (рис. 3) выполнялось с условием равенства потерь тепловой энергии согласно схеме, представленной на рис.2. Первично рассматривался перенос в здание № 3, расположенное по улице Строителей. При подстановке значений для условий Ивановской области при подземной прокладке трубопроводов в непроходных каналах [11] $\Delta\tau$ = 78,1°С, k_ϖ = 0,328, ϖ = 0,246, в уравнение (10) был получен результат L_x = 27,28 м. Так как расстояние от существующей точки водораздела до здания № 3 больше, то перенос точки раздела в здание № 3 нецелесообразно. При этом также необходимо, чтобы гидравлический режим изменился: для выполнения условия (11).

Во втором варианте предполагалось размещение точки водораздела в здании № 14. Подстановка значений дала следующие результаты: L_x = 24,31 м, что больше, чем расстояние до здания №14. В данном случае перенос точки водораздела будет оправданным, но для соблюдения условия (12) гидравлический режим также нужно изменить, но в меньшей степени.

Для сравнения результатов был выполнен расчет потерь тепловой энергии по формуле (2) для различных положений узла водораздела. Результаты расчета представлены в табл. 1.

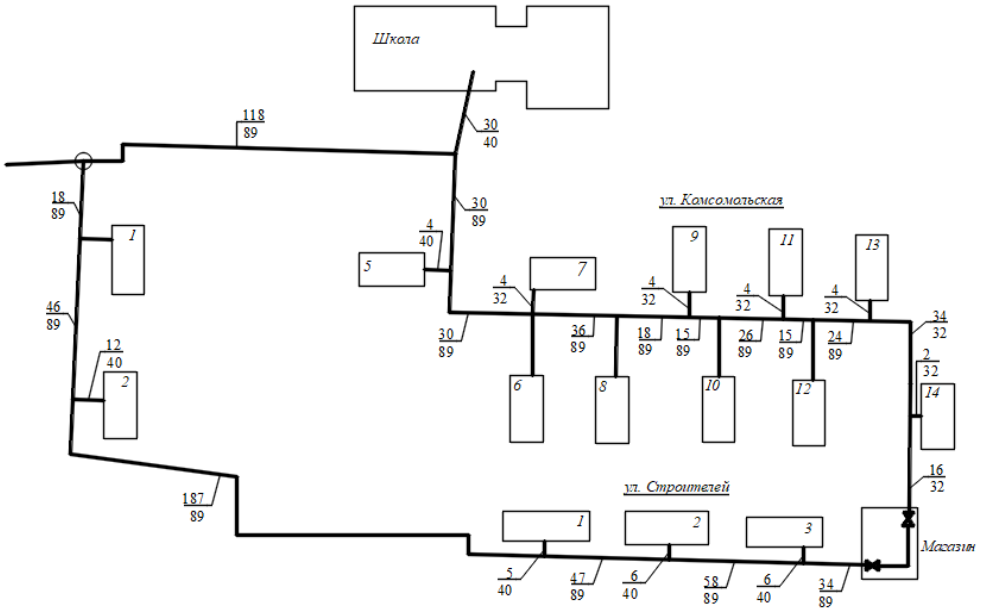


Рис. 3. Теплоснабжение участка с. Новое Горяново Ивановской области (иллюстрация авторов)
Fig. 3. Heat supply in the village of Novoe Goryanovo, Ivanovo region (illustration by the authors)

Таблица 1. Результаты расчета тепловых потерь при различных положениях узла водораздела участка тепловой сети с. Новое Горяново Ивановской области
Table 1. Results of calculating heat losses for different positions of the watershed node of the heating network section in the village of Novoye Goryanovo, Ivanovo Region

Положение узла водораздела	Магазин	Здание №3	Здание №14
Потери тепловой энергии, кВт	25,10	26,54	24,57
Гидравлические потери 1 участка	850,9	818,8	857,8
Гидравлические потери 2 участка	850,9	857,8	823,5
Невязка гидравлических потерь, %	0	-4,76	4,17

Таблица 1 наглядно демонстрирует, что перенос узла водораздела позволяет подойти к рациональному снижению тепловых потерь при сохранении гидравлического режима.

ВЫВОДЫ

На примере реального участка тепловой сети села Новое Горяново Ивановской области показано, что перенос узла водораздела в здание №14 приводит к снижению тепловых потерь на 2,12% по сравнению с исходным положением, при этом невязка гидравлических потерь составляет всего 4,17%, что не нарушает гидравлическую устойчивость системы. Таким образом, методика определения оптимального положения узла водораздела является эффективной и применимой на практике для повышения энергоэффективности существующих тепловых сетей без необходимости капитальных вложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьева, А. С. Анализ основных проблем централизованного теплоснабжения в России на современном этапе / А. С. Терентьева // Научные труды / главный редактор А. К. Моисеев. – Москва: МАКС Пресс, 2020. – С. 253-273. – (Научные труды ИНП РАН; т. 18).

2. Шершенов Р.А., Ефимов А.Ю., Шмаков В.Ю. Повышение надежности систем отопления// Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019;46(4):197-204. (На рус.) https://doi.org/10.21822/2073-6185-2019-46-4-197-204.

3. Amir Rafati, Maryamsadat Tahavori, Hamid Reza Shaker, Data-driven reliability analysis of district heating systems for asset management applications: A review, Sustainable Cities and Society, Volume 118, 2025, 106052, ISSN 2210-6707, https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106052.

4. Токарев В.В. Разработка методики секционирования кольцевых тепловых сетей закрытых систем теплоснабжения //Теплоэнергетика, 2018, № 6, с. 84–94.

5. Веселова Н.М. К вопросу определения тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов систем теплоснабжения на предпроектной стадии / Н.М. Веселова, П.П. Кондауров, А.Д. Лёгкий //Градостроительство и архитектура, 14(4), 2024. – С. 25-32.

6. Бадах, В.Ф. Определение потерь в сетях коммунального теплоснабжения / В.Ф. Бадах, А.Д. Кузнецова // Технико-технологические проблемы сервиса: Организационно-экономические аспекты сервиса. – 2010. – 3 (13). – С. 84-92.

7. Juhani Kotilainen, Jarmo Hellstedt, Henrik Tolvanen, Determining economic feasibility of supply temperature reduction in existing district heating system through thermohydraulic modelling, Energy, Volume 329, 2025, 136781, ISSN 0360-5442, https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136781.

8. Dariusz Jakubek, Paweł Ocłoń, Marzena Nowak-Ocłoń, Maciej Sułowicz, Petar Sabev Varbanov, Jiří Jaromír Klemeš, Mathematical modelling and model validation of the heat losses in district heating networks, Energy, Volume 267, 2023, 126460, ISSN 0360-5442, https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126460.

9. Васильченко, С.А. Нормирование потерь в тепловых сетях: учеб. пособие / С.А. Васильченко, В.И. Суздорф. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 104 с.

10. Chicherin, Stanislav & Masatin, Vladislav & Siirde, Andres & Volkova, Anna. (2020). Method for Assessing Heat Loss in A District Heating Network with A Focus on the State of Insulation and Actual Demand for Useful Energy. Energies. 13. 4505. 10.3390/en13174505.

11. Ваньков, Ю. В., Горбунова Т. Г., Загидуллин Д. Н. Схема теплоснабжения г. Набережные Челны: анализ надежности кольцевых тепловых сетей северо-восточной части города // тр. XIII Междунар. симп. «Энегоресурсоэффективность и энергосбережение в РТ», Казань, 5-7 декабря 2012 г., Издательство ООО «Скрипта», 2012 г. – 512с.

12. Красавин, Г. В. Реконструкция водоснабжения Г. Игарки Красноярского края / Г. В. Красавин // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 25(77). – С. 37-44. – EDN TFSCVQ.

13. Волна, В. В. Оптимизация системы водоснабжения Г. Феодосия с учетом износа трубопроводов / В. В. Волна, Р. С. Крымов, Н. С. Мельникова // Строительство и техногенная безопасность. – 2022. – № 27(79). – С. 59-69. – EDN WDBNHY.

REFERENCES

1. Terentyeva, A. S. Analysis of the main problems of centralized heat supply in Russia at the present stage / A. S. Terentyeva // Scientific papers / editor-in-chief A. K. Moiseev. Moscow: MAKS Press, 2020. pp. 253-273. (Scientific Papers of INP RAS; vol. 18).

2. Shershenov R.A., Efimov A.Yu., Shmakov V.Yu. Improving the reliability of heating systems// Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical sciences. 2019;46(4):197-204. (In Russian.) https://doi.org/10.21822/2073-6185-2019-46-4-197-204.

3. Amir Rafati, Maryamsadat Tahavori, Hamid Reza Shaker, Data-driven re-liability analysis of district heating systems for asset management applications: A review, Sustainable Cities and Society, Volume 118, 2025, 106052, ISSN 2210-6707, https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.106052

4. Tokarev V.V. Development of a method for partitioning circular heating networks of closed heat supply systems //Teploenergetika, 2018, No. 6, pp. 84-94.

5. Veselova N.M. On the issue of determining heat losses through heat-insulating structures of pipelines of heat supply systems at the pre-design stage / N.M. Veselova, P.P. Kondaurov, A.D. Light //Urban Planning and Architecture, 14(4), 2024. – pp. 25-32.

6. Badakh, V.F. Determination of losses in municipal heating networks / V.F. Badakh, A.D. Kuznetsova // Technical and technological problems of the service: Organizational and economic aspects of the service. – 2010. – 3 (13). – Pp. 84-92.

7. Juhani Kotilainen, Jarmo Hellstedt, Henrik Tolvanen, Determining eco-nomic feasibility of supply temperature reduction in existing district heating system through thermohydraulic modelling, Energy, Volume 329, 2025, 136781, ISSN 0360-5442, https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136781.

8. Dariusz Jakubek, Paweł Ocłoń, Marzena Nowak-Ocłoń, Maciej Sułowicz, Petar Sabev Varbanov, Jiří Jaromír Klemeš, Mathematical modelling and model validation of the heat losses in district heating networks, Energy, Volume 267, 2023, 126460, ISSN 0360-5442, https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126460.

9. Vasilchenko, S.A. Normalization of losses in heating networks: textbook. so-so / S.A. Vasilchenko, V.I. Suzdorf. – Komsomolsk-on-Amur: FSBEI HPE "KnAGTU", 2014. – 104 p.

10. Chicherin, Stanislav & Masatin, Vladislav & Siirde, Andres & Volkova, Anna. (2020). Method for Assessing Heat Loss in A District Heating Network with A Focus on the State of Insulation and Actual Demand for Useful Energy. Energies. 13. 4505. 10.3390/en13174505.

11. Vankov, Yu. V., Gorbunova T. G., Zagidullin D. N. Heat supply scheme of Naberezhnye Chelny: reliability analysis of ring heating networks in the northeastern part of the city // tr. XIII International. simp. "Energoresur-co-efficiency and energy saving in the Republic of Tatarstan", Kazan, December 5-7, 2012, Publisher LLC "Skripta", 2012 – 512c.

12. Krasavin, G. V. Reconstruction of water supply in Igarka, Krasnoyarsk Territory / G. V. Krasavin // Stroitel`stvo i texnogennaya bezopasnost`. – 2022. – № 25(77). – S. 37-44. – EDN TFSCVQ.

13. Volna, V. V. Optimization of the Feodosiya water supply system taking into account pipeline wear / V. V. Volna, R. S. Krymov, N. S. Melnikova // Stroitel`stvo i texnogennaya bezopasnost`. – 2022. – № 27(79). – S. 59-69. – EDN WDBNHY.

MINIMIZING HEAT LOSSES IN HEATING NETWORKS BY OPTIMIZING THE LOCATION OF THE WATERSHED NODE

Veselova N.M., Karapuzova N.Yu., Kondaurov P.P., Zhupanov A.I.

Volgograd State Technical University
Institute of Architecture and Construction
400074, Russian Federation, Volgograd, st. Academic 1.
e-mail: aist@vgasu.ru

Abstract. The paper proposes an energy-efficient approach to reducing heat losses in conditionally closed urban heat supply networks by optimizing the location of the watershed node without capital investments in pipeline reconstruction.
Subject. The problem of the suboptimal location of the watershed node in conditionally closed heating networks is investigated, which is often determined without taking into account heat losses during design. The relationship between the location of the watershed node, the amount of heat loss (through thermal insulation and with coolant leaks) and the hydraulic mode of the network with two-way power supply is analyzed.
Materials and methods. A methodology has been developed to find the optimal location of the watershed node based on minimizing the above costs, where heat losses are the main variable. The method includes: drawing up a differential equation for an infinitesimal section of pipeline, taking into account the distributed flow of coolant; forming a condition for minimal heat losses while maintaining a balance of hydraulic losses in both network lines (taking into account the coefficient of local resistance z = 0.01).
Results. Using the example of the heating network of the village of Novoe Goryanovo, Ivanovo region (lengths of sections up to the watershed: L_1 = 390 m, L_2 = 362 m; distributed costs: g_{01} = 0.113 *kg*/(*s***m*), g_{02} = 0.138 *kg*/(*s***m*·) It is shown that the transfer of the watershed node to building No. 14 (distance L_x = 24.31 m from the starting point) reduces heat losses by 2.12% (from 25.10 to 24.57 kW); the change in hydraulic mode is insignificant: the pressure loss discrepancy is 4.17%, which does not violate the hydraulic stability of the system.;
Conclusions. Optimizing the location of the watershed node is an effective tool for improving the energy efficiency of existing heating networks without capital costs. The proposed technique makes it possible to achieve a reduction in heat losses with minimal impact on the hydraulic regime, which is confirmed by practical calculation on a real object. The approach is applicable for the reconstruction and operation of conditionally closed heat supply systems in order to save energy resources and increase reliability.

Key words: conditionally closed heating network, watershed node, heat loss, hydraulic mode, thermal insulation of pipelines, distributed thermal load.