

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОБЪЕМОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА СРЕДНЕВЗВЕШЕННЫЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

А. В. Мухамбаев, главный специалист отдела развития систем теплоэнергоснабжения АО «Газпром промгаз»

Д. А. Мильков, заведующий отделом развития систем теплоэнергоснабжения АО «Газпром промгаз»

А. С. Горшков, заведующий отделом разработки схем и программ развития систем энергоснабжения АО «Газпром промгаз»

*Тепловые сети являются артериями города, по которым тепловая энергия поступает в дома и обеспечивает их отопление и горячее водоснабжение. Таким образом, надежное и качественное теплоснабжение является залогом сохранения здоровья и поддержания комфортных условий проживания жителей города.*

По состоянию на 01.01.2024 в Санкт-Петербурге на балансе четырех основных теплосетевых организаций города (ГУП «ТЭК СПб», АО «Теплосеть Санкт Петербурга», ООО «Петербурктеплоэнерго», ООО «Теплоэнерго») числится около 10 000 км трубопроводов (здесь и далее все значения длин трубопроводов приводятся в однотрубном исчислении) [1].

В соответствии с требованиями раздела 10 СП 124.13330 расчетный срок службы трубопроводов тепловых сетей должен составлять не менее 30 лет [2]. При достижении этого периода эксплуатации следует проводить экспертное обследование технического состояния трубопровода в целях определения допустимости, параметров и условий дальнейшей его эксплуатации или необходимости демонтажа. С увеличением сроков эксплуатации тепловых сетей возрастают объемы ежегодных ремонтов, тепловые потери, а также объем недополученной тепловой энергии потребителями в связи с увеличением количества отказов. Таким образом, после 30 лет эксплуатации тепловые сети начинают генерировать дополнительные затраты, что приводит к существенному снижению эффективности их эксплуатации.

Понятно, что фактический срок службы, или период эксплуатации, трубопроводов тепловой сети может оказаться как больше, так и меньше расчетного (назначенного нормативными документами). Хорошо, если фактический срок службы трубопроводов окажется выше расчетного (нормативного). Однако далеко не во всех случаях указанное назначение может реализоваться. Исследование [3] показывает, что «характерное время жизни теплопроводов», при котором вероятность их отказов достигает 0.63, соответствует примерно десяти годам. Такие периоды эксплуатации более характерны для трубопроводов небольших диаметров. Чем меньше диаметр трубопровода, тем меньше у него отношение площади внутренней поверхности к объему трубы и, как правило, меньше толщина стенки. Поэтому у них вероятность отказов оказывается выше, чем у трубопроводов больших диаметров, например, магистральных, имеющих диаметр до 1400 мм.

При этом чем выше диаметр трубопровода, тем более ответственным он является, т. к. от надежности его эксплуатации зависит надежность теплоснабжения более значительных по площади застройки городских территорий. В этой связи магистральные трубопроводы должны обладать более высокими эксплуатационными показателями и сроками службы.

Конечно, срок службы не является единственно возможным и объективным показателем технического состояния тепловой сети. Безусловно и то, что планирование реконструкции участков тепловой сети более корректно назначать по результатам объективной оценки технического состояния трубопроводов, на основании которой должно приниматься решение о замене тех или иных наиболее изношенных ее участков. Но ввиду отсутствия подобных данных в необходимом объеме приходится ориентироваться, в том числе, на фактический период эксплуатации трубопроводов, ожидая, что чем большему количеству циклов нагревания-охлаждения они подвергаются за время эксплуатации, тем выше их износ, т. е. имеет место прямо пропорциональная зависимость физического износа трубопроводов от времени их эксплуатации. Ввиду вышесказанного до внедрения объективной системы автоматизированного мониторинга технического состояния всей тепловой сети фактический период эксплуатации трубопроводов продолжает оставаться тем объективным показателем, которым мы обладаем.

## МЕТОДИКА

Ежегодно в Санкт-Петербурге реконструируется около 200 км трубопроводов тепловой сети [1]. Рассмотрим, как будет изменяться средневзвешенный период эксплуатации трубопроводов с учетом их частичной реконструкции (замены аварийных и ветхих участков тепловой сети новыми трубами).

Введем следующие обозначения.

Текущий, на момент времени  $t$ , средневзвешенный срок службы, или период эксплуатации, трубопроводов тепловой сети определяется из выражения:

$$\bar{\tau}_i = \frac{\tau_1 \cdot l_1 + \tau_2 \cdot l_2 + \dots + \tau_{n-1} \cdot l_{n-1} + \tau_n \cdot l_n}{l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1} + l_n} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (1)$$

где  $\tau_i$  — фактический срок службы трубопроводов  $i$ -го года эксплуатации, например,  $\tau_1 = 1$  и т. д.;

$l_i$  — протяженность (длина) трубопроводов  $i$ -го года эксплуатации.

Допустим, что на следующий год запланирована реконструкция трубопроводов с наибольшими периодами эксплуатации, например, имеющих фактический срок службы  $n-1$  и  $n$  лет. При этом предусмотрена только частичная их реконструкция.

Средневзвешенный период эксплуатации реконструируемых трубопроводов в этом случае составит:

$$\bar{\tau}^- = \frac{\tau_{n-1} \cdot l_{n-1}^- + \tau_n \cdot l_n^-}{l_{n-1}^- + l_n^-}, \quad (2)$$

где  $l_{n-1}^-$ ,  $l_n^-$  — протяженности реконструируемых трубопроводов тепловой сети, прослуживших до замены соответственно  $n$  и  $n-1$  лет.

Трубопроводы с меньшим периодом эксплуатации при этом не реконструируются. Для упрощения последующих расчетов трубопроводы с меньшим периодом эксплуатации заменим каким-либо одним, например, имеющим фактический период эксплуатации  $\tau_1$ . Тогда через один год средневзвешенный период эксплуатации трубопроводов, с учетом их частичной реконструкции, составит:

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_{t+1} &= \frac{(\tau_1+1) \cdot l_1 + (\tau_{n-1}+1) \cdot (l_{n-1} - l_{n-1}^-) + (\tau_n+1) \cdot (l_n - l_n^-) + \tau_1 \cdot (l_{n-1}^- + l_n^-)}{l_1 + l_{n-1} + l_n} = \\ &= \frac{(\tau_1 \cdot l_1 + l_1) + (\tau_{n-1} \cdot l_{n-1} + l_{n-1} - \tau_{n-1} \cdot l_{n-1}^- - l_{n-1}^-) + (\tau_n \cdot l_n + l_n - \tau_n \cdot l_n^- - l_n^-) + \tau_1 \cdot l_{n-1}^- + \tau_1 \cdot l_n^-}{l_1 + l_{n-1} + l_n}.\end{aligned}$$

Сгруппируем полученное выражение на ряд слагаемых:

$$\bar{\tau}_{t+1} = \frac{(\tau_1 \cdot l_1 + \tau_{n-1} \cdot l_{n-1} + \tau_n \cdot l_n) + (l_1 + l_{n-1} + l_n) - (\tau_{n-1} \cdot l_{n-1}^- + \tau_n \cdot l_n^-) + l_{n-1}^- \cdot (\tau_1 - 1) + l_n^- \cdot (\tau_1 - 1)}{l_1 + l_{n-1} + l_n}.$$

Учтем, что  $\tau_1 - 1 = 0$ . Тогда последнее выражение примет вид:

$$\bar{\tau}_{t+1} = \frac{(\tau_1 \cdot l_1 + \tau_{n-1} \cdot l_{n-1} + \tau_n \cdot l_n)}{l_1 + l_{n-1} + l_n} + \frac{(l_1 + l_{n-1} + l_n)}{l_1 + l_{n-1} + l_n} - \frac{(\tau_{n-1} \cdot l_{n-1}^- + \tau_n \cdot l_n^-)}{l_1 + l_{n-1} + l_n}. \quad (3)$$

Видим, что первое слагаемое в выражении (3) представляет собой средневзвешенный период эксплуатации трубопроводов в момент времени  $t$ , второе слагаемое равно единице. Числитель третьего слагаемого определим из формулы (2):

$$(\tau_{n-1} \cdot l_{n-1}^- + \tau_n \cdot l_n^-) = \bar{\tau}^- \cdot (l_{n-1}^- + l_n^-). \quad (4)$$

Подставим правую часть выражения (4) в формулу (3) и окончательно ее упростим с учетом введенных ранее обозначений:

$$\begin{aligned}\bar{\tau}_{t+1} &= \frac{(\tau_1 \cdot l_1 + \tau_{n-1} \cdot l_{n-1} + \tau_n \cdot l_n)}{l_1 + l_{n-1} + l_n} + \frac{(l_1 + l_{n-1} + l_n)}{l_1 + l_{n-1} + l_n} - \frac{\bar{\tau}^- \cdot (l_{n-1}^- + l_n^-)}{l_1 + l_{n-1} + l_n} = \\ &= \bar{\tau}_t + 1 - \bar{\tau}^- \cdot \frac{l_{n-1}^- + l_n^-}{l_1 + l_{n-1} + l_n}.\end{aligned} \quad (5)$$

Из выражения (5) видно, что **средневзвешенный период эксплуатации трубопроводов тепловой сети через год после реконструкции будет равен сумме текущего средневзвешенного периода эксплуатации и единицы (все существующие трубопроводы к этому времени постареют на один год) за вычетом средневзвешенного периода эксплуатации реконструируемых трубопроводов, умноженного на их долю в общей протяженности тепловой сети.**

Более упрощенно выражение (5) можно записать в виде:

$$\bar{\tau}_{t+1} = \bar{\tau}_t + 1 - \bar{\tau}^- \cdot \frac{l_{\Sigma}^-}{l_{\Sigma}}, \quad (6)$$

где  $l_{\Sigma}^-$  — суммарная протяженность реконструируемых трубопроводов, км;

$l_{\Sigma}$  — суммарная протяженность тепловой сети, км.

Условием нестарения (неувеличения средневзвешенного периода эксплуатации) трубопроводов тепловой сети является:

$$\bar{\tau}_{t+1} = \bar{\tau}_t. \quad (7)$$

В этом случае выражение (6) примет вид:

$$1 - \bar{\tau}^- \cdot \frac{l_{\Sigma}^-}{l_{\Sigma}} = 0,$$

откуда

$$\bar{\tau}^- \cdot \frac{l_{\Sigma}^-}{l_{\Sigma}} = 1 \rightarrow \bar{\tau}^- \cdot l_{\Sigma}^- = l_{\Sigma} \rightarrow l_{\Sigma}^- = \frac{l_{\Sigma}}{\bar{\tau}^-}. \quad (8)$$

Из соотношений (8), в частности, следует, что **чем меньше средневзвешенный срок службы реконструируемых трубопроводов (т. е. чем раньше с момента укладки они выходят из строя), тем бóльшим должен быть объем перекладки тепловых сетей.**

Средневзвешенный период эксплуатации трубопроводов будет уменьшаться при выполнении следующего условия:

$$\bar{\tau}^- \cdot \frac{l_{\Sigma}^-}{l_{\Sigma}} > 1. \quad (9)$$

Если суммарную протяженность тепловой сети  $l_{\Sigma}$  принять равной 10 000 км, а объем ежегодной перекладки тепловой сети — 200 км, то для выполнения условия (9) средневзвешенный период эксплуатации реконструируемых трубопроводов  $\bar{\tau}^-$  должен составить 50 лет. По всей видимости, к такому фактическому периоду эксплуатации трубопроводов следует стремиться.

Определение ежегодных амортизационных отчислений в себестоимости продукции рассчитывается через норму амортизации, которая определяется сроком полезного использования, в течение которого объект основных средств или объект нематериальных активов служит для выполнения целей деятельности налогоплательщика. В этой связи увеличение фактического периода эксплуатации вновь вводимых (реконструированных) тепловых сетей должно вести к уточнению классификатора основных средств и/или учетной политики теплоснабжающих организаций в сторону увеличения нормы амортизации объекта «тепловые сети» [4]. А увеличение нормы амортизации при близких значениях капитальных затрат, в свою очередь, должно вести к снижению тарифа за счет уменьшения ежегодных амортизационных отчислений в себестоимости.

Таким образом, чем выше окажется прогнозируемый период эксплуатации трубопроводов, тем на больший срок распределятся капитальные затраты на реконструкцию тепловой сети и тем меньшим окажется их влияние на динамику роста тарифа на тепловую энергию в тарифно-балансовой модели.

Другим вариантом уменьшения средневзвешенного периода эксплуатации трубопроводов является увеличение объемов перекладки тепловой сети [в формуле (6) обозначены символом  $l_{\Sigma}^{-}$ ]. Если средневзвешенный период эксплуатации реконструируемых трубопроводов составляет, например, 20 лет, то объем ежегодной перекладки тепловых сетей  $l_{\Sigma}^{-}$  должен составлять не менее 500 км, 10 лет — 1000 км и т. д. В этих случаях средневзвешенный период эксплуатации трубопроводов от года к году не будет увеличиваться.

В модели выше не рассмотрено влияние нового строительства. Однако с учетом того, что строительство новых тепловых сетей в городе не превышает 1% от общей протяженности тепловых сетей, их влияние не окажет существенного влияния на итоговый результат.

Аналогичные расчеты могут быть выполнены по отдельным диаметрам трубопроводов и применительно к сетям, находящимся на балансе различных теплосетевых организаций.

## **ВЫВОДЫ**

1. Получено выражение для расчета средневзвешенного периода эксплуатации трубопроводов тепловой сети с учетом объемов ее реконструкции.
2. Анализ полученного выражения показывает, что для уменьшения средневзвешенного периода эксплуатации трубопроводов тепловой сети фактический период эксплуатации реконструируемых трубопроводов должен оказаться как можно большим. Для этого следует стремиться к увеличению фактического срока службы трубопроводов тепловой сети, особенно магистральных, внедрять более долговечные изделия и вводить систему автоматического мониторинга тепловой сети, позволяющую своевременно прогнозировать эксплуатационное состояние тепловой сети и аварийные ситуации.
3. Чем раньше с момента укладки трубопроводы будут выходить из строя, т. е. чем меньшим окажется фактический период их эксплуатации до замены, тем большим должен быть объем перекладки тепловых сетей.
4. Несмотря на очевидность сформулированных выше результатов исследования, до получения объективных данных о техническом состоянии трубопроводов тепловой сети представленная в работе модель позволяет количественно оценить требуемый объем перекладки тепловой сети с учетом средневзвешенного периода эксплуатации реконструируемых участков тепловой сети.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Схема теплоснабжения Санкт-Петербурга на период до 2033 года (актуализация на 2023 год). [Электронный ресурс]: URL: <https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/ingen/shemy-razvitiya-inzhenerno-energeticheskogo-kompleksa/shema-teplosnabzheniya/> (дата обращения: 17.12.2023).

2. Горшков А. С. Износ и повреждение тепловых сетей. Решение проблемы качества и надежности энергоснабжения / А. С. Горшков, П. П. Рымкевич // Энергосбережение. — 2019. — № 4. — С. 50–55.
3. Кирюхин С. Н. Оценка данных о технологических нарушениях в тепловых сетях / С. Н. Кирюхин, Е. В. Сеннова, А. О. Шиманская // Энергосбережение. — 2018. — № 6. — С. 38–45.
4. Постановление Правительства от 1 января 2002 года № 1 «О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» (с изменениями на 18 ноября 2022 года).