

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ В БЕСКАНАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Журнал "Новости теплоснабжения", № 6(22), июнь, 2002, С. 18 – 23, www.ntsnp.ru

В.С.Слепченко, ГУП «ТЭК СПб»; А.Н.Рондель, генеральный директор, Н.Н.Шаповалов, генеральный директор ООО «ДИС СО», г. Санкт-Петербург

Введение

Тепловые сети, являясь составной частью системы централизованного теплоснабжения современных городов, представляют собой сложные инженерные сооружения, предназначены для транспортировки тепловой энергии от источников тепла к потребителям. Срок эксплуатации источников тепла и объектов, к которым оно подается, составляет 50-100 лет. Поэтому и теплопровод, являющийся связующим звеном между ними, должен надежно работать в течение этого же периода времени (за исключением случаев его морального старения, например, при необходимости увеличения его пропускной способности).

Однако, качество конструкции и теплоизоляционные характеристики подземных теплопроводов, применяемых в настоящее время в отечественной практике строительства, в основном не удовлетворяют современным требованиям эффективности и долговечности.

В ходе эксплуатации различные физико-химические воздействия окружающей среды вызывают деструктивные процессы в гидро-теплоизоляционных конструкциях подземных теплопроводов, которые существенно изменяют пористую структуру материала, увеличивая количество сквозных пор и их размеры, способствуя появлению трещин и других дефектов. Подобные изменения структуры практически не оказывают влияния на теплопроводность изоляции в сухом состоянии, однако, в очень большой степени влияют на коэффициент переноса жидкой влаги, увеличивая его на несколько порядков, что приводит к увеличению эксплуатационной влажности изоляции и, вследствие этого, к резкому снижению ее теплозащитных свойств. На участках увлажнения теплоизоляции, как правило, возникает наружная коррозия труб.

Причины появления и воздействия наружной коррозии на подземные теплопроводы достаточно хорошо изучены специалистами и широко представлены в специализированной литературе. Наиболее существенными факторами, определяющими коррозионную активность вмещающей среды, является структура, гранулометрический состав, влажность, воздухопроницаемость, окислительно-восстановительный потенциал, общая кислотность и общая щелочность почв и грунтов. Помимо почвенной коррозии, подземные теплопроводы подвержены электрокоррозии, вызываемой блуждающими токами, и внутренней коррозии.

В условиях г. Санкт-Петербурга и его пригородов причины появления и воздействия внутренней коррозии на теплопроводы, а, следовательно, снижение надежности транспортировки тепла также были проанализированы и опубликованы.

Настоящая статья в большей мере посвящается анализу и оценке влияния инженерно- геологических условий Санкт-Петербурга на величину тепловых потерь с охлаждением в подземных теплопроводах бесканальной прокладки.

Конструкции теплопроводов

Основные объемы строительства тепловых сетей в городе на Неве связаны с массовой постройкой жилых кварталов в 60-70-е годы. С начала 60-х годов вплоть до 1976 г. включительно, в связи с режим расширением объема жилищного строительства и недостаточной мощностью изоляционно-сварочного завода в г. Ленинграде, ежегодными распоряжениями Ленгорисполкома давалось разрешение на прокладку теплопроводов следующей конструкции:

- Подающий трубопровод с изоляцией из армопенобетона (АПБ), состоящий из нескольких слоев тепло- и гидроизоляционных материалов в следующей последовательности: автоклавный армопенобетон (теплоизоляция), битумная мастика, армированная металлической сеткой, изол, бризол, битумная мастика и асбоцементная штукатурка по металлической сетке (гидроизоляция).

- Обратный трубопровод с усиленной гидроизоляцией, состоящей из нескольких слоев материалов в следующей последовательности: битумная мастика, изол, битумная мастика, асбоцементная штукатурка по металлической сетке.

С 1977 г. прокладка тепловых сетей осуществлялась трубопроводами, теплоизолированными армопенобетоном (АПБ) вне зависимости от направления движения и температуры теплоносителя.

В настоящее время, из 5061 км трубопроводов тепловой сети в однотрубном исчислении, находящихся на балансе ГУП «ТЭК СПб»,

около 80% трубопроводов проложены в АПБ теплоизоляции; 563 км имеют ППУ изоляцию, около 700 км (9,84%) трубопроводов (обратные трубопроводы со сроком эксплуатации более 25 лет) – имеют только гидроизоляционное покрытие «Тип 5».

Армопенобетон(АПБ) относится к теплоизоляционным изделиям из ячеистых бетонов. Основным сырьем служат: цемент, известь, кварцевый песок и др. Вводя в их смесь клееканифольную мыльную пену, получают пенобетон, в который для повышения прочности в период изготовления закладывают арматуру в виде проволочных каркасов. Повреждения асбоцементных покрытий возникают, прежде всего, под влиянием вод с очень низкой карбонатной жесткостью, находящихся в кислых почвах (болотистые почвы, торф) с переменным вентилированием. Армопенобетон представляет собой капиллярно-пористую (иногда капиллярно-пористую коллоидную) систему, поры и капилляры которой заполнены воздухом и водой. Пористыми материалами называют тела, содержащие достаточное количество пустот, характерный размер которых мал по сравнению с характерным размером тела. Пустоты могут быть сообщающимися или не сообщающимися между собой, и распределены внутри тела упорядоченным или неупорядоченным образом. Незамкнутые или сквозные поры определяют так называемую «открытую пористость», обеспечивающую доступ влаги и кислорода к поверхности трубы. Наличие пор и капилляров в стенках ячеек пенобетона повышает значение его «открытой пористости». Неоднородность структуры теплоизоляции, содержание комплекса химических реагентов в условиях температурно-влажного режима эксплуатации предопределяют возможность развития в широком диапазоне интенсивности коррозионного процесса металла труб.

Процессы растворения и вымывания усиливаются при наличии пор и трещин, а также отслаивании покрытия, неизбежно возникающих при изменении температуры в теплопроводе и трения о грунт. При этом снижается величина показателя рН воды, содержащейся в порах бетона. В армопенобетоне возникает коррозия арматурной стали и ее разрушение. Нарушение наружной асбоцементной оболочки существенно ослабляет гидроизоляционную конструкцию, в которой изол приклеивается при помощи битумных мастик, которые размягчаются при температурах чуть больших 70-80 °С, битумная мастика стекает вниз и отслаивается. Температурные перемещения трубопровода увеличивают трение о грунт. Остатки гидроизоляционного слоя полностью отслаиваются от теплоизоляционного слоя. Почвенные воды проникают к наружной поверхности теплоизоляции.

Причины разрушения теплогидроизоляции

Санкт-Петербург находится в дельте р. Невы, город часто подвергается наводнениям, что приводит к интенсивному намоканию тепловой изоляции. В зоне повышенного уровня грунтовых вод в весенне-осенний период находится свыше 60% трубопроводов тепловой сети предприятия.

Основная часть трубопроводов, эксплуатируемых предприятием, находится под воздействием кислых почв.

На сохранность тепло- и гидроизоляционного покрытия большое влияние оказывают тепловые напряжения, разрушающие тепло- и гидроизоляционные покрытия и защитные пленки на поверхности металла из-за разных их коэффициентов термического расширения металла и пленки. Механические напряжения ускоряют коррозионное разрушение металлов, т.к. они разрушают целостность защитных пленок на поверхности труб и покрытий теплопроводов при трении о грунт.

Механической причиной разрушения гидроизоляционного слоя является также его повреждение техникой при разгрузке, монтаже, засыпке во время капитального строительства или ремонта трубопроводов тепловой сети. Повреждение при капитальном ремонте и ликвидации отказов часто происходит из-за недостаточной точности обнаружения поврежденного участка, что приводит к раскапыванию больших участков тепловых сетей с повреждением гидроизоляционного слоя трубопроводов. За последние пять лет (1996-2000 годы) средняя годовая повреждаемость трубопроводов составляет 7031 отказов/год. В 2001 г. на тепловых сетях предприятия зафиксировано 8109 отказов.

Определение тепловых потерь

В соответствии с «Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ», теплопроводы, находящиеся на балансе ГУП «ТЭК СПб», подвергаются периодическим испытаниям с целью определения величины тепловых потерь.

Основой для определения величины тепловых потерь на охлаждение теплоносителя (при транспортировке и распределении) в водяных тепловых сетях является периодическое проведение специальных испытаний на тепловые потери в соответствие с «Методическими указаниями по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях: РД 34.09.255-97», а также применением в отдельных случаях расчетно-аналитических методов (для участков тепловых сетей, не являющихся характерными и аналогичными испытываемым по типу прокладки и конструкции тепловой изоляции, а также для участков тепловых сетей, вводимых в эксплуатацию после монтажа, реконструкции или капитального ремонта). Пересчет мгновенных (часовых) значений тепловых потерь в величину тепловых потерь в любое другое время (в том числе для среднегодовых, среднемесячных условий) производится пропорционально разности температуры теплоносителя и температуры грунта.

Таким образом, при измерении тепловых потерь в соответствии с «Методическими указаниями по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях: РД 34.09.255-97» допускаются следующие упрощения:

- термическое сопротивление грунта в течение года (отопительного сезона) считается постоянным,

- влияние теплоотдачи с поверхности грунта не учитывается,

- в каждый рассматриваемый отрезок времени (месяц, сезон) температурное поле от подземного теплопровода рассматривается как стационарное для средней температуры сетевой воды и грунта.

Однако, в естественных природных условиях термическое сопротивление грунта из-за разной его влажности изменяется в течение года. Тепловые потери (в стационарном режиме – тоже), в конечном счете, обусловлены теплоотдачей атмосферному воздуху. Реальное температурное поле от подземного теплопровода является нестационарным из-за влияния метеорологических факторов. Длительные интервалы времени (месяц, сезон) в среднем можно описывать стационарным процессом теплопроводности и теплоотдачи. Но при изменении режима теплоснабжения необходимо учитывать переходные процессы. Так, если ступенчато увеличивается температура сетевой воды, а потом, через длительное время, опять уменьшается до исходного значения, то транспортируемое тепло, затраченное на разогрев грунта, лишь в очень незначительной мере возвращается обратно (нагрев грунтом теплопровода). Большая часть тепла отдается атмосферному воздуху (большая площадь теплоотдачи и большая «мощность теплоотдачи» – плотность теплового потока). Поэтому, реальные тепловые потери при увеличении температуры сетевой воды существенно больше рассчитанных по энергетической характеристике.

Тепловые потери являются величиной индивидуальной для конкретной тепловой сети и не могут напрямую применяться в качестве аналогов для других тепловых сетей, т.к. включенные в испытания участки тепловых сетей существенно отличаются по диаметру, глубине прокладки и условиям эксплуатации от основной массы теплосетей. Условия эксплуатации изменяются в зависимости от времени года, а также отличаются по влиянию потребителей (резкое отличие температуры воды в обратной трубе и ступенчатое изменение этой температуры по отрезкам теплосети в реальных условиях эксплуатации).

Измерить тепловые потери по существующей методике можно только в межотопительный сезон, только в определенных гидрологических условиях (лето, ранняя осень), только для весьма протяженного отрезка теплопроводов (более 3 км) и только на некоторых участках теплосети, представленных в основном магистральными теплопроводами. Из общего объема тепловых сетей, состоящих на балансе ГУП «ТЭК СПб», квартальные сети (с трубами диаметром менее 200 мм) составляют по протяженности большую часть. Фактическая величина тепловых потерь в квартальных тепловых сетях не поддается прямому измерению по существующей методике по техническим причинам.

Кроме того, проведение тепловых испытаний по определению количественных значений тепловых потерь через изоляцию трубопроводов по существующим методикам требуют больших подготовительных работ, материальных ресурсов и прекращение теплоснабжения потребителей на время проведения испытаний. Очевидно, теплоснабжающей организации, имеющей на своем балансе более 5000 км тепловой сети, провести подобные испытания на всех трубопроводах предприятия, с учетом инженерно-геологических условий функционирования и эксплуатации трубопроводов, не реально. Следовательно, невозможно установить величины поправочных коэффициентов, которые, в соответствии с нормативными документами, предлагается использовать при определении тепловых потерь.

Возможный способ определения тепловых потерь с охлаждением с помощью приборов учета тепловой энергии у потребителей в настоящее время не реален, из-за их отсутствия у большинства потребителей. В то же время, расчетные тепловые потери, выполненные по нормативным документам, не учитывают потери с охлаждением теплоносителя в трубопроводах, связанных с естественным «старением» теплогидроизоляции и, как следствие, с уменьшением ее термического сопротивления. Они также не учитывают реально более высоких значений теплопроводности теплоизоляции и грунта вследствие явлений массопереноса (газо-, паро- и водопроводности), влияние состава грунта, фактическую глубину заложения трубопроводов, природных условий местности. Вследствие этого, отсутствие достаточного технического и правового обоснования, которые необходимы для введения поправочных коэффициентов, приводят к тому, что теплоснабжающая организация на основании существующих нормативных документов не

учитывает реальные условия эксплуатации и показывает заниженные тепловые потери при транспортировке тепла.

Для повсеместной характеристики тепловой сети (или отдельных теплопроводов) по величине тепловых потерь в разное время отопительного сезона целесообразно использовать методы и средства инструментального контроля, позволяющие выявлять основные факторы, приводящие к возрастанию тепловых потерь, и количественно учитывать воздействие реальных условий эксплуатации при определении величины тепловых потерь.

Анализ влияния инженерно-геологических и других факторов

В течение длительного времени комплексное обследование тепловых сетей в филиалах ГУП «ТЭК СПб» выполняет Санкт-Петербургское предприятие «ДисСО». Основной целью проводимых работ является оперативное обнаружение дефектных участков тепловых сетей, к которым в первую очередь следует отнести участки с значительными разрушениями гидро-теплоизоляционного покрытия, подверженные существенному коррозионному износу. Для этих целей специалисты «ДисСО» используют комплекс дистанционных методов неразрушающего контроля, сформированный на базе многолетнего опыта работы по оценке технического состояния теплопроводов подземной прокладки. По мере накопления базы статистических данных о техническом состоянии и условиях эксплуатации существующих трубопроводов тепловой сети, у предприятия появилась возможность использовать при оценке тепловых потерь новые методы, которые позволяют учитывать старение тепловой изоляции и инженерно-геологические условия функционирования и эксплуатации трубопроводов тепловой сети.

Результаты неоднократного, сплошного обследования тепловых сетей ГУП «ТЭК СПб» в режиме мониторинга, модельные расчеты и накопленная статистическая информация позволили выявить основные инженерно-геологические факторы, приводящие к возрастанию тепловых потерь, которые, как правило, не учитываются при проведении испытаний на тепловые потери. К ним следует отнести:

1. намокание теплоизоляции в периоды высокого уровня грунтовых вод, в местах разрушения гидроизоляционного покрытия (некачественная изоляция, несоблюдение технологии укладки труб, нарушения сплошности изоляции при ремонтных работах);
2. сезонное увлажнение грунтов на уровне прокладки трубопроводов теплотрассы;
3. влияние стоячих и проточных грунтовых вод, а также техногенных стоков.

1 фактор – намокание тепловой изоляции : оказывает влияние на все трубопроводы с изоляцией АПБ, которые эксплуатируются свыше 3 лет. Интенсивное увлажнение тепловой изоляции трубопроводов тепловой сети наблюдается в периоды увлажнения грунта.

2 фактор – влияние влажного грунта на увеличение тепловых потерь: оказывает на трубопроводы с изоляцией АПБ в периоды сезонного подъема грунтовых вод и сильных, затяжных дождей. В зависимости от увлажнения грунта стоячими или проточными грунтовыми водами тепловые потери будут иметь различные величины.

Оба этих фактора оказывают воздействие на увеличение тепловых потерь на трубопроводы с изоляцией АПБ, находящихся в зонах высокого уровня грунтовых вод в периоды увлажнения грунта. Гидрогеологические условия Санкт-Петербурга являются крайне неблагоприятными для эксплуатации и сохранности подземных трубопроводов тепловых сетей. Город построен в дельте Невы, грунты обладают высокой влажностью. Максимальный уровень грунтовых вод отмечается в весенний период, во время таяния снежного покрова. Менее интенсивное повышение уровня имеет место осенью. Влияние повышения уровня грунтовых вод проявляется двойко. Во-первых, увеличение влажности грунтов приводит к увеличению их теплопроводности. Во-вторых, применяемые для гидроизоляции трубопроводов материалы со временем начинают пропускать влагу, что приводит к намоканию теплоизоляции и соответственно увеличению ее теплопроводности также.

Результаты обработки материалов тепловых аэросъемок, выполненных в разные периоды времени, показывают сильное влияние фактора подтопления грунтовой водой подземных теплопроводов на величину тепловых потерь. Для иллюстрации на рис. 1 приводятся два исходных тепловых аэроснимка магистрального трубопровода от Обуховского завода в районе перекрестка улиц Шелгунова и Седова. Левый снимок показывает состояние теплового поля над трубопроводами в конце декабря 1999 г. (зимний минимум уровня грунтовых вод). Результаты компьютерной обработки показывают среднее превышение тепловых потерь с данного участка над нормативными потерями в 2,8 раза. Правый тепловой аэроснимок (рис. 1) получен в конце марта 2000 г., в период весеннего максимума уровня грунтовых вод. В этом случае за счет насыщения влагой изоляции и грунта тепловые потери превышают нормативные в 3,2 раза.



Рис. 1. Тепловые аэроснимки магистрального трубопровода.

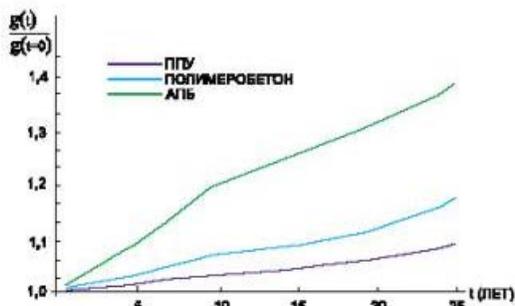


Рис. 3. Коэффициент старения различных типов теплоизоляции.

3 фактор – влияние стоячих и проточных грунтовых вод на увеличение тепловых потерь: влияние этого фактора проиллюстрируем рисунком 2. На этом рисунке приведен тепловой снимок участка магистрали по ул. Коммуны, на котором зафиксировано подтопление участка грунтовой водой с последующим стоком по каналам телефонных кабелей.



Рис. 2. Тепловой снимок участка магистрали, на котором зафиксировано подтопление участка грунтовой водой с последующим стоком по каналам телефонных кабелей.

Наличие проточных вод в зоне расположения трубопроводов тепловой сети оказывает воздействие на увеличение тепловых потерь через тепловую изоляцию трубопроводов тепловой сети (т.н. «радиаторный эффект»).

Все эти причины оказывают максимальное влияние на участках тепловых сетей с неудовлетворительной работой системы сопутствующего дренажа.

Помимо этого, при определении поправочных коэффициентов, следует учитывать и такие причины, как:

- естественное старение изоляции;
- конструктивные особенности, вызывающие возрастание тепловых потерь.

Старение изоляции: оказывает влияние на все трубопроводы с изоляцией АПБ независимо от других факторов.

Из графика (рис. 3), полученного ВНИПИэнергопромом при проведении экспериментальных работ, видно изменение коэффициента старения различных типов изоляции в зависимости от сроков их эксплуатации.

Конструктивные особенности, вызывающие возрастание тепловых потерь – к таковым относятся участки теплосети без тепловой изоляции на обратной трубе (10% от общей протяженности) и конструкционные элементы (футляры, гильзы, коробка под дорожными «подушками» из щебня и гравия, участки воздушной прокладки), для которых сопротивление теплопередаче оказывается существенно меньшим.

Влияние вышеперечисленных факторов может быть учтено посредством использования поправочных коэффициентов, численные значения которых должны определяться на основании имеющихся экспериментальных и статистических данных.

Оценка тепловых потерь

Тепловые потери на участках теплопроводов с использованием труб «Тип 5» могут быть оценены следующим способом.

Тепловые потери неизолированного трубопровода $D_{\text{экв}} = 159$ мм можно подсчитать по формуле:

$$q = (\tau - t_0) / R_{\text{гп}}, \quad (1)$$

где:

$\tau = (273 + 50) \text{ }^\circ\text{K}$ – среднегодовая температура теплоносителя в обратном трубопроводе;

$t_0 = (273 + 5) \text{ }^\circ\text{K}$ – среднегодовая температура окружающего воздуха;

$R_{\text{гп}}$ – термическое сопротивление грунта, определяется из выражения:

$$R_{\text{гп}} = \frac{\ln(4h/d)}{2\pi\lambda_{\text{гп}}}, \quad (2)$$

где:

$d = 159$ мм – наружный диаметр эквивалентного диаметра трубопровода тепловых сетей предприятия, определяемый из выражения ($d_{\text{экв}} = \sum d_j \cdot L_j / \sum L_j$);

L_j и d_j – длина и диаметр участков подземных трубопроводов;

$\lambda_{\text{гп}} = 1,5$ Вт / (м · час · °K) – теплопроводность грунта средней влажности;

$h = 1,4$ – глубина заложения оси трубопровода;

$$R_{\text{гп}} = \frac{\ln(4 * 1,4 / 0,159)}{2 * 3,14 * 1,5} = 3,56 : 9,42 = 0,37 \text{ Вт/м},$$

тогда:

$$q = (\tau - t_0) / R_{\text{гп}} = (323 - 278) / 0,37 = 121,6 \text{ Вт/м}.$$

Для изолированного трубопровода $d_n = 159$ мм $q_n = 17$ Вт/м (СНИП 2.04.14-88* Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов).

Превышение теплового потока от бесканального подземного трубопровода с изоляцией «Тип 5» по сравнению с нормированной величиной будет составлять:

$q / q_H = 121,6 : 17 = 7,2$ раза.

Расчеты, выполненные по вышеприведенной методике, показали, что тепловые потери за счет увеличения тепловых потерь через тепловую изоляцию бесканальных подземных трубопроводов увеличиваются по сравнению с нормативными потерями в несколько раз.

Рис. 1. Тепловые аэроснимки магистрального трубопровода

Рис. 2. Тепловой снимок участка магистрали, на котором зафиксировано подтопление участка грунтовой водой с последующим стоком по каналам телефонных кабелей.