

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ БЕСКАНАЛЬНОЙ ТЕПЛОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ТЕПЛОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ

Пашенцев А.И.,¹ Гармидер А.А.², Пашенцева Л.В.³

¹ Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского
295943 г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: Aleksandr_Pashentsev@mail.ru

² Институт экономики и управления ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского
295015 г. Симферополь ул. Севастопольская, 21/4 e-mail: An111net@mail.ru

³ Институт «Академия строительства и архитектуры», ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского
295943 г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: lar11lica@mail.ru

Аннотация. Представлено авторское видение методического подхода к оценке тепловых потерь бесканальной тепловой сети в основе, которого находится определение удельных тепловых потерь, обусловленные протеканием процесса тепловой интерференции. Проведена систематизация существующих подходов к оценке тепловых потерь тепловых сетей с выявлением позитивных и негативных особенностей, обоснована логическая схема осуществления процесса тепловой интерференции при движении высокотемпературного теплоносителя в подающем теплопроводе тепловой сети. Представлена математическая интерпретация методического подхода к оценке тепловых потерь бесканальных тепловых сетей с учетом тепловой интерференции, включающей в себя двенадцать последовательно выполняемых расчетных стадий.

Ключевые слова: тепловая интерференция, бесканальная тепловая сеть, удельные тепловые потери.

ВВЕДЕНИЕ

Распределение тепловой энергии между потребителями по трубопроводам тепловой сети связано с потерями теплоты для уменьшения величины, которых используются различные конструкции тепловой изоляции и композитные материалы. Экономическая эффективность функционирования тепловой сети в значительной мере зависит от качественного состояния тепловой изоляции трубопроводов тепловой сети и запорно-регулирующей арматуры. При этом снижение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя является важным аспектом экономии топливных ресурсов, повышает устойчивость металла к коррозии, способствует увеличению срока службы тепловой сети. Кроме того, тепловые потери можно рассматривать с позиции тарифообразующего фактора, показателем энергетической эффективности работы тепловых сетей, что свидетельствует о целесообразности рассматривать тепловые потери тепловой сети с практической точки зрения. В этой связи возникает необходимость расчета величины тепловых потерь по определенной методике, одна из которых представлена в нормативных документах по проектированию тепловой изоляции, нормах проектирования и различных СНиПах. Однако действующая методика расчета фактических тепловых потерь обусловлена рядом сложностей, что выражается в необходимости отключения потребителей от подачи теплоты, вынужденном изменении схемы тепловой сети ввиду необходимости устройства перемычек между подающим и обратным трубопроводами, привлечении значительного количества персонала для фиксации показаний на приборах, сложности полного отключения потребителей от подачи теплоносителя, что приводит к утечкам теплоносителя и искажению окончательных результатов, отсутствию учета влияния температурного поля подающего трубопровода на обратный трубопровод тепловой сети. В этой связи обоснование методического подхода к оценке тепловых потерь бесканальной тепловой сети с учетом тепловой интерференции является актуальным.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной научной статьи является обоснование методического подхода к оценке тепловых потерь бесканальной тепловой сети с учетом тепловой интерференции. Для ее достижения решены следующие задачи: проведен анализ существующих подходов к оценке тепловых потерь тепловых сетей, представлена логическая схема осуществления процесса тепловой интерференции при создании температурного поля вокруг подающего и обратного теплопроводов, обоснованы условия осуществления

процесса тепловой интерференции, представлена математическая интерпретация методического подхода к оценке тепловых потерь бесканальной тепловой сети с учетом тепловой интерференции.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Изучение научных работ российских ученых по тематике настоящего исследования позволило прийти к выводу о ведении дискуссии в открытой печати, где представлены различные точки зрения относительно методики расчета тепловых потерь тепловой сети. Наличие разных точек зрения обусловлено существующей проблематикой, вызванной сложностью эксплуатации данных сетей в разных природно-климатических условиях характерных для Российской Федерации ввиду ее площади. Тем не менее в открытой печати представлены разные позиции и ведется поиск конструктивных предложений методики расчета тепловых потерь, отличающейся рациональностью, объективностью и универсальностью применения в разных природно-климатических условиях страны.

Нужно отметить, что определяющим подходом расчета тепловых потерь тепловой сети является подход подробно представленный группой ученых В.Е. Козиным, Т.А. Левитиной, А.П. Марковым, И.Б. Прониним, В.А. Слемзиным [5]. Здесь представлены методические подходы к оценке тепловых потерь разных видов тепловых сетей: подземной канальной, подземной бесканальной, воздушной с обоснованием расчетного процесса и справочных материалов. Обращает на себя внимание объективность суждений авторского коллектива, доказательность представленных методик на реальных примерах, что повышает уровень понимания и восприимчивости исследователей. Однако с течением времени происходят изменения как в системе управления эксплуатацией тепловыми сетями, так и в производстве композитных материалов и изделий, используемых в строительстве данных сетей, что приводит к повышению эффективности тепловой изоляции и послужило своеобразным толчком к разработке новых методических подходов. В настоящее время можно выделить два принципиальных подхода по теме исследования: учитывающий эксплуатационный фактор и приборно-аналитический.

Сторонниками первого подхода являются А.В. Баранов [1], П.И. Постников [6], которые считают, что в процессе эксплуатации тепловой сети конструкция тепловой изоляции частично разрушается, что приводит к увеличению тепловых потерь. Можно согласиться с данной точкой зрения, так как она объективна. Независимо от вида тепловой сети (подземная канальная, подземная бесканальная, воздушная) под воздействием факторов окружающей среды и человеческого фактора происходит постепенное разрушение тепловой изоляции, что приводит к существенному изменению показателя термического сопротивления материала изоляции. В частности А.В. Баранов отмечает, что «при учете эксплуатационных факторов, ухудшающих термическое сопротивление изоляции, на всех участках наблюдается закономерное увеличение расчетных тепловых потерь, по сравнению с проектными потерями. В зависимости от характера и масштабности дефектов изоляции, тепловые потери могут изменяться в широком диапазоне, в несколько раз превышая проектные значения» [1]. Однако в случае воздушной прокладки тепловой сети можно путем визуального обследования установить участки с поврежденной тепловой изоляцией и определить площадь повреждения, что должно найти отражение в дальнейшем расчете тепловых потерь. При наличии подземной прокладки, особенно в непроходных каналах, наблюдаются существенные трудности в выявлении участков с поврежденной тепловой изоляцией, что вынуждает применение специальных методов диагностики и задействования современного высокоточного оборудования, что не всегда возможно ввиду отсутствия такового у исследователя или ограниченности финансовых ресурсов для проведения исследований. Данный метод основан на сопоставлении фактических и нормативных тепловых потерь, где определению первых посвящены разработки ученого. В свою очередь ученый П.И. Постников, детализируя собственную точку зрения относительно темы исследования отмечает, что при определении фактических тепловых потерь целесообразно применить «декомпозиционный подход на каждом характерном участке трубопроводов с учетом нештатных условий эксплуатации и ненормативного технического состояния изоляции по длине. Совместно с современными способами диагностики состояния подземных теплопроводов можно выявлять участки с сверхнормативными тепловыми потерями, обосновывать возможность проведения ремонтно-изоляционных работ, осушения железобетонных каналов, проведение дополнительной гидроизоляции железобетонных перекрытий» [6]. Здесь акцент делается на выявление аварийных участков тепловых сетей, что собственно подразумевает наличие нештатной ситуации согласно точке зрения ученого. При этом расчет фактических тепловых потерь предполагается именно на таких участках с последующим сопоставлением

полученного результата с нормативными значениями и принятием решения по нормализации ситуации.

Сторонниками второго подхода являются С.А. Байбаков, А.С. Тимошкин [2], Е.Г. Ерин [3], В.Г. Игошин [4], В.Г. Семенов [7], которые считают, что целесообразно для определения фактических тепловых потерь тепловой сети использовать приборы, учитывающие отпуск и потребление тепловой энергии потребителями. Здесь акцент делается на использование специального оборудования и аппаратуры, позволяющей в онлайн-режиме провести снятие данных по отпуску теплоты потребителям. При этом высказывается точка зрения согласно, которой необходимо проводить замеры в определенный период времени года и продолжительности. Для этой группы ученых характерна идентичная точка зрения относительно целесообразности проведения замеров отпуска тепла непосредственно в самый напряженный период работы тепловой сети, каким является отопительный период. При этом относительно продолжительности замера высказываются разные точки зрения. Так ученый Е.Г. Ерин считает, что продолжительность замера данных должна быть не менее 10 дней, что позволит получить среднедекадные показатели и ввести их в дальнейшие расчеты [3]. Ученый В.Г. Игошин считает, что продолжительность замера данных по отпуску теплоты должна быть сокращена до 7 дней, что позволит получить среднедекадные показатели, отличающиеся оперативным характером [4]. На взгляд авторов обосновать продолжительность замера данных по отпуску теплоты с жесткой привязкой к определенному периоду времени затруднительно, в данном случае целесообразно исходить из периода стояния минимальных температур наружного воздуха. При этом использовать приборы для расчета фактических потерь теплоты тепловой сети является объективным ввиду того, что процесс приготовления и распределения теплоносителя требуемых параметров между потребителями требует применения разной аппаратуры. Так ученые С.А. Байбаков, А.С. Тимошкин отмечают, что « в настоящее время, в связи с оснащением источников тепла и потребителей тепловой энергии современной измерительной аппаратурой, входящей в состав приборов, учета отпуска и потребления тепла и имеющей возможность архивирования измеряемых параметров, ситуация в значительной степени меняется. Имеется большое количество данных по отпуску тепла и параметрам теплоносителя (расходам и температурам) в различных точках сети. Обработка измеряемых параметров может позволить оценить величину тепловых потерь, не проводя специальных испытаний, не меняя режимы эксплуатации тепловых сетей и не отключая потребителей» [2]. Важным является возможность снятия показаний отпуска тепловой энергии в любой момент времени и исключая необходимость проведения специальных исследований, что характерно для классической схемы определения фактических потерь тепла на участке тепловой сети. Нужно отметить, что ученые С.А. Байбаков, А.С. Тимошкин предложили несколько методик расчета тепловых потерь тепловой сети в зависимости от ее конструктивных особенностей: в тепловых сетях с разбивкой по участкам сети и тепловых сетей в целом при проведении энергетических обследований.

Целевой установкой первой методики является определение соотношения между фактическими и нормативными тепловыми потерями для разных видов тепловой сети, что позволяет в дальнейшем разработать энергетические характеристики сети. При этом основной задачей методики является определить величину тепловых потерь по всем участкам тепловой сети, но таким образом, чтобы «они при известных распределении расходов воды по участкам, температурах окружающей среды, температуре воды в источнике тепловой энергии за контрольный интервал времени позволяли получить заданное распределение температур на тепловых пунктах потребителей, оборудованных приборами учета или в специально оборудованных измерительной аппаратурой контрольных точках тепловой сети» [2]. Это означает, что распределение тепловых потерь по участкам тепловой сети осуществляется в соответствии с нормативными требованиями, а измерения осуществляются только приборам учета и в намеченных контрольных точках.

Целевой установкой второй методики является определение фактических тепловых потерь тепловой сети на основе результатов измерений параметров теплоносителя по приборам учета и потребления теплоты с использованием тепловых балансов. Особенностью этой методики является проведение энергетических обследований тепловой сети по подающему и обратному трубопроводам с использованием системы исходных показателей:

- среднегодовые температуры наружного воздуха;
- среднегодовые температуры грунта на средней глубине заложения осей теплопроводов тепловой сети;
- среднегодовые температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах;

- осредненные за контрольный интервал данные по отпуску тепла, расходам и температурам по подающей и обратной линиям на источнике тепла;
 - величины по расходу подпитки тепловой сети.

Наличие значительного объема исходной информации, которая требует проведения лабораторных исследований, существенно затрудняет расчетный процесс тепловых потерь. Необходимо отметить, что приборами учета потребления тепла оборудованы не все потребители тепловой энергии, а это означает, что величину тепловых потерь практически невозможно определить путем разности количества отпускаемой и потребляемой тепловой энергии, что существенно затрудняет применение выше указанных методик. Этот недостаток можно устранить, применяя методику оценки тепловых потерь тепловой сети, предложенную ученым В.Г. Семеновым. Методика позволяет определить потери тепла на участках, оснащенных и не оснащенных приборами учета потребления тепла [7].

$$Q_{nnp-np}^j = q_{nnp-np} \cdot G_{np}^j \cdot L^j;$$

где q_{nnp-np} – средние удельные тепловые потери в подающем трубопроводе тепловой сети; G_{np}^j – расход теплоносителя на j -ом участке подающего трубопровода тепловой сети; L^j – наименьшее расстояние по тепловой сети от источника тепловой энергии до j -ого потребителя.

Суммарные тепловые потери в подающем трубопроводе потребителя, не имеющего приборов учета потребленной теплоты [7]:

$$Q_{nnp-бзnp} = \sum Q_{nnp-np}^j;$$

где $\sum Q_{nnp-np}^j$ – суммарные тепловые потери через изоляцию подающего трубопровода, отнесенная к j - ому потребителю.

Нужно отметить, что определение суммарных тепловых потерь на участке трубопровода тепловой сети, не имеющего приборов учета сводится к ориентировочной оценке тепловых потерь на участке трубопровода, имеющего приборы учета, что имеет дискуссионный характер.

Как видим в научной литературе ведется дискуссия относительно обоснования методики оценки тепловых потерь тепловых сетей, каждая из которых отличается определенной долей новации и логичностью построения. Однако при движении высокотемпературного теплоносителя по подающему трубопроводу возникает температурное поле, которое может полностью или частично покрывать обратный трубопровод, вызывая эффект тепловой интерференции. Это оказывает определенное влияние на величину тепловых потерь обратного трубопровода. Данный вопрос не рассмотрен в указанных выше методиках оценки тепловых потерь, что позволяет авторам предложить собственную точку зрения по данному вопросу, но с учетом тепловой интерференции.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Функционирование бесканальной тепловой сети осуществляется в условиях прямого воздействия внешних факторов, что может существенно осложнить выполнение сетью поставленных задач и привести к возникновению негативных эффектов, к которым можно отнести:

- нарушение температурного режима в подающем теплопроводе;
- нарушение температурного режима в обратном теплопроводе;
- увеличение тепловых потерь в подающем и обратном теплопроводах;
- нарушение гидравлической устойчивости тепловой сети;
- нарушение гидравлического режима тепловой сети.

Результатом проявления негативных эффектов является нивелирование способности тепловой сети обеспечить подачу теплоносителя в объемах согласно гидравлического расчета, минимизировать последствия изменения условий работы потребителей тепловой энергии, предотвратить увеличение потерь тепла ввиду нарушения конструктивных композиций тепловой изоляции. Однако изучение особенностей работы тепловой сети и анализ литературных источников [5, 8, 9] по теме исследования позволило авторам прийти к заключению, что негативные эффекты можно подразделить на два вида: явные и скрытые. Первые приводят к нарушению работы тепловой сети в краткосрочном периоде

времени, что сопровождается аварийными ситуациями, которые можно наблюдать визуально по результатам последствий или отслеживать по приборам, которые установлены в источнике тепловой энергии, непосредственно по трассе тепловой сети. Вторые не приводят к нарушению работы тепловой сети, она работает и выполняет поставленные задачи, но при этом плановые показатели остаются не выполненными, что характерно для температурного режима и давления теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, потерь теплоты, утечек теплоносителя, которые не существенно, но превышают нормативные, которые также имеют место, но путем задействования подпиточного насоса удается поддержать требуемое давление в сети. Именно негативные эффекты скрытого характера приводят к снижению позитивного влияния тепловой интерференции на снижение потерь тепла тепловой сети (рис. 1.).

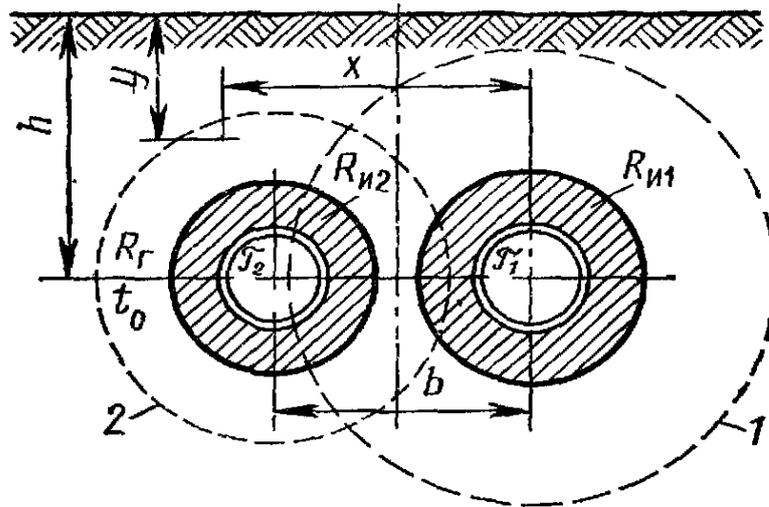


Рис. 1. Логическая схема тепловой интерференции бесканального трубопровода тепловой сети

1 – температурное поле подающего трубопровода, 2 – температурное поле обратного трубопровода, t_1 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе, t_2 – температура теплоносителя в обратном трубопроводе, t_0 – температура грунта, R_r – термическое сопротивление грунта, $R_{и1}$ – термическое сопротивление материала изоляции подающего трубопровода, $R_{и2}$ – термическое сопротивление материала изоляции обратного трубопровода

На данном рисунке представлена общая логическая схема формирования температурного поля вокруг подающего и обратного трубопроводов, что характеризует протекание процесса тепловой интерференции бесканального двухтрубного теплопровода тепловых сетей. Наружная поверхность обоих трубопроводов покрыта тепловой изоляцией, эффективность ее работы в периоде времени характеризуется термическим сопротивлением слоя изоляции. Так как бесканальный трубопровод непосредственно контактирует с грунтом, то нужно учитывать термическое сопротивление грунта, которое существенно изменяется в зависимости от его вида и физических свойств. Также на схеме показана температура грунта, которая может существенно изменяться в зависимости от времени года.

Параметр b характеризует расстояние между трубами по оси, которое должно отвечать требованиям нормативных документов относительно выдержки расстояния бесканальной укладки тепловой сети. Кроме того, это расстояние должно обеспечить достаточный проем между трубами для проведения ремонтных работ в случае аварийной ситуации. Как видим температурные поля, образующиеся вокруг теплопроводов не одинаковы по площади охвата, что можно объяснить существенным отличием температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, способствующих формированию разного по мощности теплового потока.

Подающий трубопровод создает более мощный тепловой поток, который перекрывает собой часть области температурного поля обратного трубопровода. Именно в этой области протекает процесс тепловой интерференции, которая сопровождается наложением тепловых волн и созданием температурного поля, способствующего снижению потерь тепла. При этом площадь этой области не является постоянной величиной, она может существенно варьировать в зависимости от изменяющихся

внешних условий функционирования тепловой сети. Нужно отметить, что область подверженная протеканию процесса интерференции не является однородной как по величине температурного поля, так по мощности теплового потока. Из рисунка 1 видно, что тепловой поток, исходящий от подающего трубопровода охватывает большую площадь, чем тепловой поток, исходящий от обратного трубопровода тепловой сети.

Можно предположить, что воздействие теплового потока от подающего трубопровода, имеющего высокую температуру и формирующего высокотемпературное поле, позволяет снизить тепловые потери обратного трубопровода в большей степени, чем воздействие теплового потока, исходящего от обратного трубопровода и, воздействующего на подающий. При этом, чем выше температура теплоносителя в подающем трубопроводе, тем более мощный тепловой поток воздействует на обратный трубопровод, что способствует снижению тепловых потерь.

В процессе эксплуатации бесканальной двухтрубной тепловой сети возникают тепловые потери, обуславливающие образование температурных полей вокруг подающего и обратного трубопроводов. Эти поля воздействуют друг на друга, что приводит к уменьшению тепловых потерь каждой из них, что является результатом протекания процесса тепловой интерференции. При этом, чем выше температура грунта вокруг соседнего трубопровода бесканальной тепловой сети, тем меньше тепловые потери. В данном случае можно говорить о наличии позитивного влияния, что выражается в увеличении термического сопротивления рассматриваемого трубопровода. В случае течения теплоносителя высокой температуры возможно создание ситуации, когда обратный трубопровод полностью будет охвачен температурным полем подающего трубопровода. Здесь можно выделить некоторые особенности протекания процесса тепловой интерференции:

1. Температура теплоносителя в обратном трубопроводе равна температуре температурного поля вокруг него, созданного подающим трубопроводом – тепловые потери обратного трубопровода могут достигнуть нулевого значения, что можно описать выражением:

$$t_{обт} = t_{mn}; \quad (1)$$

где $t_{обт}$ – температура теплоносителя в обратном трубопроводе бесканальной тепловой сети; t_{mn} – температура температурного поля вокруг обратного трубопровода, созданного подающим трубопроводом.

2. Температура теплоносителя в обратном трубопроводе ниже температуры температурного поля вокруг него, созданного подающим трубопроводом – тепловые потери обратного трубопровода могут достигнуть отрицательного значения, что можно описать выражением:

$$t_{обт} \leq t_{mn}; \quad (2)$$

В этом случае возможно на отдельных участках бесканальной тепловой сети строительство обратного трубопровода без тепловой изоляции, что может привести к снижению затрат на ее строительство.

3. Температура теплоносителя в обратном трубопроводе выше температуры температурного поля вокруг него, созданного подающим трубопроводом – тепловые потери обратного трубопровода могут достигнуть максимального значения, что можно описать выражением:

$$t_{обт} \geq t_{mn}; \quad (3)$$

В этом случае возможно на отдельных участках бесканальной тепловой сети строительство обратного трубопровода с большей толщиной слоя изоляции, чем это рекомендовано нормативными документами ввиду неординарности ситуации.

Особо интересна ситуация, вызывающая необходимость разработки и апробации методического подхода к оценке тепловых потерь бесканальной тепловой сети с учетом протекания процесса тепловой интерференции. Наличие такой методики позволит выявить участки тепловой сети, подверженных воздействию процесса тепловой интерференции и провести расчет тепловых потерь в оперативном режиме. Нужно отметить, что объективность результата расчета возможна при выполнении некоторых условий:

1. База исходных данных должна соответствовать принципу оптимальности, т.е. их количество достаточно для проведения расчета единоразово.

2. Показатели исходных данных формируются исследователем, для чего используются данные как справочные, так и проектные, которые соответствуют нормальному режиму эксплуатации бесканальной тепловой сети.

3. В основе методики находится расчет показателей термического сопротивления слоя изоляции и грунта.

4. Протекание процесса тепловой интерференции учитывается расчетом дополнительного термического сопротивления.

5. Фиксация наличия температурного поля осуществляется определением температуры грунта в заданных точках, расположенных вблизи от подающего и обратного трубопроводов тепловой сети.

6. Для расчета дополнительного термического сопротивления необходимо рассчитать поправочный коэффициент, учитывающий ряд параметров: температуру теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, термическое сопротивление подающего и обратного трубопровода, температуру в заданной точке грунта.

7. Позитивное влияние процесса тепловой интерференции на снижение величины тепловых потерь целесообразно определять, исходя из расчетных данных удельных тепловых потерь.

Базу исходных данных можно разделить на две группы: проектные и справочные. К первой можно отнести те данные, которые можно получить непосредственно используя проектную документацию по конкретной бесканальной тепловой сети, а именно:

- глубина заложения трубы тепловой сети по оси;
- расстояние между центрами труб тепловой сети;
- температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети;
- температура теплоносителя в обратном трубопроводе тепловой сети;
- внутренний диаметр трубопровода тепловой сети;
- наружный диаметр трубопровода тепловой сети;
- расстояние от точки А до оси подающего трубопровода;
- глубина заложения точки А.

К второй группе относятся данные, которые можно получить используя данные справочной и научной литературы, и нормативные документы (СНиП, СП), а именно:

- коэффициент теплопроводности грунта;
- коэффициент теплопроводности тепловой изоляции;
- толщина слоя изоляции подающего трубопровода тепловой сети;
- толщина слоя изоляции обратного трубопровода тепловой сети.

Однако для повышения объективности расчетов можно использовать методический подход к определению толщины слоя изоляции теплопроводов, для чего целесообразно использовать метод сравнительных приближений.

Определение термического сопротивления слоя изоляции осуществляем для каждого участка тепловой сети, что позволит получить базу данных по всей трассе сети [6, с.98]:

$$R_{уз} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \frac{d_1}{d_2} \quad (4)$$

$\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта в месте прокладки участка тепловой сети; d_1 – внутренний диаметр участка тепловой сети; d_2 – наружный диаметр участка тепловой сети.

Нужно отметить, что коэффициент теплопроводности грунта может изменяться по трассе тепловой сети ввиду изменения физических свойств грунта. Это может привести к определенному разбросу показателей расчетного показателя термического сопротивления слоя изоляции.

Расчет термического сопротивления грунта осуществляем по участкам тепловой сети по выражению [5, с.281]:

$$R_{ноб} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left[2 \frac{h}{d} + \left(4 \frac{h^2}{d^2} - 1 \right)^{0,50} \right] \quad (5)$$

где $\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта в месте прокладки участка тепловой сети; h – глубина заложения трубопровода бесканальной тепловой сети по оси; d – наружный диаметр участка тепловой сети.

Определяем полное термическое сопротивление бесканальной тепловой сети, что осуществляем по участкам тепловой сети в разрезе подающего и обратного теплопроводов:

$$R = R_{уз1} + R_{гр} + R_{уз2} \quad (6)$$

где $R_{из1}$ $R_{из2}$ – термическое сопротивление подающего и обратного трубопровода бесканальной тепловой сети; $R_{гр}$ – термическое сопротивление грунта в места прокладки участка тепловой сети.

Определение удельных тепловых потерь осуществляем при наличии расчетного показателя полного термического сопротивления:

$$q_1 = (\tau_1 - t_0) / R \quad (7)$$

$$q_2 = (\tau_2 - t_0) / R \quad (8)$$

где q_1 q_2 – удельные тепловые потери в подающем и обратном трубопроводах; τ_1 , τ_2 – температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети; t_0 – температура наружного воздуха; R – полное термическое сопротивление.

Определение дополнительного термического сопротивления, которое вызвано протеканием процесса тепловой интерференции, проводим по выражению:

$$R_{допмин} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln\left[1 + \left(\frac{2h}{b}\right)^2\right] \quad (9)$$

где $\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта в месте прокладки участка тепловой сети; h – глубина заложения трубопровода бесканальной тепловой сети по оси; b – расстояние между подающим и обратным трубопроводами тепловой сети по оси.

Однако дополнительное термическое сопротивление не является постоянной величиной, оно может изменяться в зависимости от температуры грунта в исследуемой точке, взятой возле трубопровода тепловой сети. Эта точка может располагаться как вблизи подающего, так и обратного трубопроводов. При этом некоторое их количество позволяет получить график распределения температуры грунта, что наглядно доказывает наличие температурного поля вокруг трубопроводов. Для этого определяем поправочный коэффициент к расчету дополнительного термического сопротивления по выражению актуализированному авторами, обусловленного протеканием процесса тепловой интерференции на основе источника [1]:

$$\varphi_1 = \frac{(\tau_2 - t_{гр}) \cdot R_1 - (\tau_1 - t_{гр}) \cdot R_{доп}}{(\tau_1 - t_{гр}) \cdot R_1 - (\tau_2 - t_{гр}) \cdot R_{доп}} \quad (10)$$

$$\varphi_2 = \frac{(\tau_1 - t_{гр}) \cdot R_2 - (\tau_2 - t_{гр}) \cdot R_{доп}}{(\tau_2 - t_{гр}) \cdot R_2 - (\tau_1 - t_{гр}) \cdot R_{доп}} \quad (11)$$

где τ_1 , τ_2 – температура в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети; $t_{гр}$ – температура грунта в исследуемой точке; $R_{усл}$ – условное термическое сопротивление; R_1 , R_2 – термическое сопротивление в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети.

Определяем дополнительное термическое сопротивление по выражению актуализированному авторами на основе источника [8, с. 111], вызванное протеканием процесса тепловой интерференции:

$$R_{доп1} = \varphi \cdot R_{доп} \quad (12)$$

$$R_{доп2} = \frac{1}{\varphi} \cdot R_{доп} \quad (13)$$

φ – поправочный коэффициент к расчету дополнительного термического сопротивления; $R_{доп}$ – дополнительное термическое сопротивление.

Определяем удельные тепловые потери, обусловленные протеканием процесса тепловой интерференции:

$$q_1^1 = \frac{(\tau_1 - t_0) \cdot R_2 - (\tau_2 - t_0) \cdot R_{доп1}}{R_1 \cdot R_2 - R_{доп1}} \quad (14)$$

$$q_2^1 = \frac{(\tau_2 - t_0) \cdot R_1 - (\tau_1 - t_0) \cdot R_{доп2}}{R_1 \cdot R_2 - R_{доп2}} \quad (15)$$

q_1^1 – удельные тепловые потери в подающем трубопроводе с учетом протекания процесса тепловой

интерференции, q_2^1 – удельные тепловые потери в обратном трубопроводе с учетом протекания процесса тепловой интерференции.

Уточняем удельные тепловые потери с учетом протекания процесса тепловой интерференции:

$$q_{1ym} = q_1 - q_1^1 \quad (16)$$

$$q_{2ym} = q_2 - q_2^1 \quad (17)$$

где q_1, q_1^1 – удельные тепловые потери в подающем трубопроводе бесканальной тепловой сети без учета и с учетом процесса тепловой интерференции; где q_2, q_2^1 – удельные тепловые потери в обратном трубопроводе бесканальной тепловой сети без учета и с учетом процесса тепловой интерференции.

Определяем потери тепла по длине участка трубопровода тепловой сети на основании данных о фактической протяженности подающего и обратного трубопроводов бесканальной тепловой сети:

$$q_1 = q_{1ym} \cdot L_1 \quad (18)$$

$$q_2 = q_{2ym} \cdot L_2 \quad (19)$$

где q_{1yt} – уточненные удельные тепловые потери с учетом протекания процесса тепловой интерференции в подающем трубопроводе; q_{2yt} – уточненные удельные тепловые потери с учетом протекания процесса тепловой интерференции в обратном трубопроводе; L_1, L_2 – фактическая протяженность участка тепловой сети подающего и обратного трубопровода бесканальной тепловой сети.

Проводим проверку фиксации наличия температурного поля тепловой сети в заданной точке грунта, по выражению актуализированному авторами на основе источника [5, с. 284]. Нужно отметить, что для обоснования точки зрения относительно наличия температурного поля целесообразно провести расчеты для нескольких точек, что позволит построить график поля температур.

$$t = t_0 + \frac{q_1^1}{2\pi\lambda_{cp}} \operatorname{Ln} \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2^1}{2\pi\lambda_{cp}} \operatorname{Ln} \sqrt{\frac{(x-b) + (y+h)^2}{(x-b) + (y-h)^2}} \quad (20)$$

где t_0 – температура наружного воздуха; q_1, q_2 – удельные тепловые потери в подающем и обратном трубопроводе бесканальной тепловой сети с учетом протекания процесса тепловой интерференции; x – расстояние от точки А до оси подающего трубопровода; y – глубина заложения точки А в грунте при формировании температурного поля; b – расстояние между трубопроводами тепловой сети по оси; h – глубина заложения трубопровода тепловой сети по оси.

Представленная методика включает в себя двенадцать последовательных стадий, выполнение каждой последующей возможно только после выполнения предыдущей. Расчетный процесс требует использования объективной базы данных, собранной как при использовании справочной научной литературы, так и данных полученных лабораторным методом. Получение результата тепловых потерь основано на проведении расчета потерь тепла с учетом процесса тепловой интерференции, что осуществляется по формулам 10-17.

ВЫВОДЫ

Обоснован методический подход к оценке тепловых потерь бесканальной тепловой сети с учетом тепловой интерференции на основе синтеза точек зрения российских ученых по теме исследования, состоящий из двенадцати последовательных стадий. Определяющим показателем является удельные тепловые потери в подающем и обратном трубопроводах с учетом протекания процесса тепловой интерференции, рассчитанные на один метр тепловой сети, что позволяет определить общие тепловые потери при наличии данных о протяженности участков тепловой сети. Расчет тепловых потерь проводим, используя метод вычета данных потерь тепла с учетом и без учета тепловой интерференции.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты настоящего исследования целесообразно применить в региональном разрезе Республики Крым в периоде времени, что позволит провести апробацию данной методики в

реальных условиях функционирования бесканальных тепловых сетей. Полученные результаты позволят провести сопоставление фактических и нормативных тепловых потерь, сделать заключение о возможности проведения ремонтных работ с целью сокращения величины тепловых потерь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов, А.В. Методический подход к оценке фактических тепловых потерь тепловой сети.– [Текст] – Режим доступа к информации https://studwood.ru/1043403/matematika_himiya_fizika/metody_ekspress-ootsenki_teplovyh_poterv_v_setyah_teplosnabzheniya.
2. Байбаков, С.А., Тимошкин А.С. Методики определения и оценки фактических тепловых потерь через изоляцию в водяных тепловых сетях систем централизованного теплоснабжения без отключения потребителей. – [Текст] / С.А. Байбаков, А.С. Тимошкин / – Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2690
3. Ерин, Е.Г. Теплоснабжение и тепловые пункты: монография [Текст] / Е.Г. Ерин. – Томск: Научная мысль. – 2019. – 187 с.
4. Игошин, В.Г. Теплоснабжение: учебное пособие [Текст] / В.Г. Игошин. – Уфа.: Наука, 2020. – 233 с.
5. Козин, В.Е. Теплоснабжение : учебное пособие [Текст] / В.Е. Козин, Т.А. Левитина, А.П. Марков и др. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
6. Постников, П.И. Методологические аспекты определения тепловых потерь тепловых сетей: монография [Текст] / П.И. Постников. – М.: Инфра-М, 2017. – 289 с.
7. Семенов, В.Г. Методический подход к оценке тепловых потерь водяной тепловой сети. [Текст] – Режим доступа к информации <https://3bpu.ru/poryadok-opredeleniya-teplovyh-poterv-teplovyeh-seti-i-poteri.html>
8. Тимин, Е.А. Теплоснабжение: учебное пособие [Текст] / Е.А. Тимин. – Пермь.: Азимут, 2019. – 383 с.
9. Уханов, Г.Г. Теплоснабжение: учебное пособие [Текст] / Г.Г. Уханов. – Казань.: Итиль, 2019. – 291 с.
10. Егоров, С.А. Совершенствование газодинамических процессов подачи и сжигания газового топлива в утилизационных установках малой мощности [Текст] / С.А. Егоров // Экономика строительства и природопользования. – 2021. – №3 (80). – С. 134–138.

METHODOLOGICAL APPROACH TO ESTIMATION OF THERMAL LOSSES OF THERMAL NETWORK TAKING INTO ACCOUNT THERMAL INTERFERENCE

Pashentsev A.I., Garmider A.A., Pashentseva L.V.
V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. The author's vision of a methodical approach to estimation of thermal losses of a channel-less thermal network is presented at the base, which is the determination of specific thermal losses caused by the thermal interference process. There was carried out systematization of existing approaches to estimation of thermal losses of heat networks with identification of positive and negative features, the logical scheme of thermal interference process implementation at movement of high-temperature heat carrier in heat supply line of heat network is justified. Mathematical interpretation of methodical approach to estimation of thermal losses of channel-less heat networks is presented taking into account thermal interference, which includes twelve successively performed calculation stages.

Keywords: thermal interference, channel-less heat network, specific heat losses.