



## ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ

Зав. лаб. Хромченков В.Г.<sup>1</sup>, к.т.н., доц. Яворовский Ю.В.<sup>1</sup>, асп. Полуэктова Т.Ю.<sup>1</sup>, д.т.н., проф. Куличихин В.В.<sup>1</sup> (НИУ "МЭИ")

*АННОТАЦИЯ. Определены направления, при которых необходимо определение тепловых потерь в тепловых сетях. Рассмотрена динамика изменения требований СНиП по тепловым потерям с поверхности трубопроводов различных типов прокладки. Сформулирована задача оптимизации тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей, рассмотрен программный продукт, разработанный для этих целей, приводятся результаты расчета.*

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тепловая изоляция, нормативные тепловые потери, тепловая сеть, теплоснабжение.*

В современных условиях необходимым фактором экономически эффективного функционирования промышленных предприятий, а также предприятий, снабжающих тепловой энергией различных потребителей и, в первую очередь, ЖКХ, является рациональное использование тепловой энергии. Определяющая роль в снижении тепловых потерь при транспорте теплоносителя принадлежит тепловой изоляции.

По приближенным оценкам повышение теплозащитных свойств тепловой изоляции трубопроводов систем централизованного и промышленного теплоснабжения в состоянии обеспечить экономию энергоресурсов по стране в объеме более 20 млн. т.у.т. в год.

От качества теплоизоляционной конструкции теплопровода также зависят его долговечность и надежность работы, так как эта конструкция одновременно защищает наружную поверхность трубы от коррозии при агрессивном воздействии окружающей среды. Очевидно, что это приводит к повышению надежности работы всей системы теплоснабжения с обеспечением потребителей теплоносителем требуемых параметров.

В связи с изложенным является актуальной проблема расчета потерь тепловой энергии при транспорте теплоносителя с учетом многочисленного спектра влияющих факторов, а также определение наиболее эффективной конструкции тепло- и хладопроводов, обеспечивающей экономически обоснованные потери теплоты и холода.

На сегодняшний день определение потерь при транспорте теплоносителя является важной задачей как для самих производителей тепловой энергии, так и ее потребителей, так как получаемые результаты влияют на конечную величину тарифа на тепловую энергию. Знание величины тепловых потерь позволяет также правильно выбирать мощности основного и вспомогательного оборудования ЦТП и, в конечном счете, источника тепловой энергии.

Величина тепловых потерь при транспорте теплоносителя может стать решающим фактором при выборе структуры системы теплоснабжения с возможной ее децентрализацией, выбором температурного графика тепловой сети и др.

В целом, можно выделить несколько основных направлений, когда требуется проведение соответствующих расчетов тепловых потерь при транспорте теплоносителя:

1. Определение нормативных тепловых потерь, как с поверхности изоляции трубопровода, так и с нормативными утечками теплоносителя. Это тем более важно в настоящее время в связи с требованием Министерства энергетики [1] о проведении таких расчетов всеми теплоснабжающими организациями, отпускающими тепловую энергию населению. Нормативные тепловые потери напрямую учитывают основные влияющие факторы: длину трубопровода, его диаметр, температуры теплоносителя и окружающей среды. Не учитывают только фактическое состояние изоляции трубопроводов. Нормативные тепловые потери должны рассчитываться для всей тепловой сети с определением потерь теплоты с утечками теплоносителя и с поверхности изоляции всех трубопроводов, по которым осуществляется теплоснабжение от имеющегося источника теплоты. Причем эти расчеты должны выполняться как в плановом (расчетном) варианте с учетом среднестатистических данных по температуре наружного воздуха, грунта, продолжительности отопительного периода и т.д., так и уточняться в конце его по фактическим данным указанных параметров, в том числе с учетом фактических температур теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе.

2. Определение потерь тепловой энергии с поверхности трубопровода до и после нанесения тепловой изоляции с определением экономической эффективности работ по изоляции трубопроводов и сроков окупаемости. Данные расчеты часто проводятся при энергетическом обследовании предприятий.

3. Определение оптимальной толщины изоля-

<sup>1</sup> 111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, (495) 362-75-53

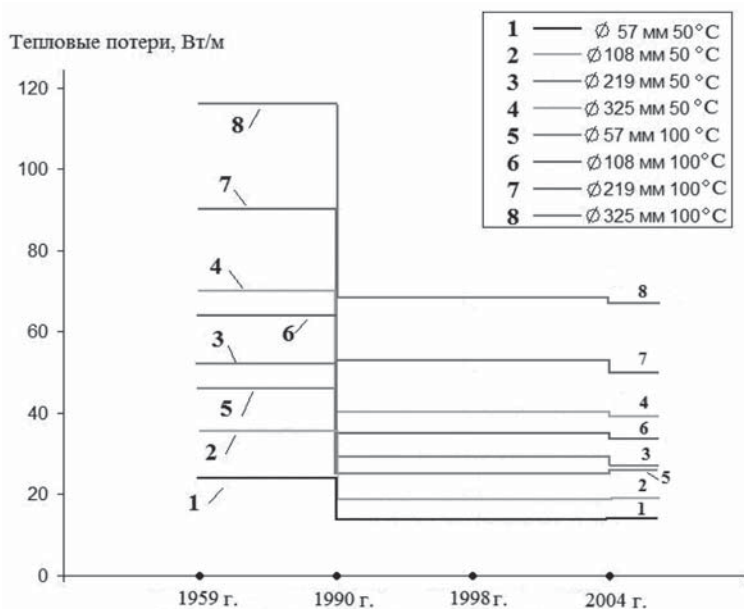


Рис. 1. Динамика требований СНиП к тепловым потерям с поверхности трубопроводов при надземном способе прокладки.

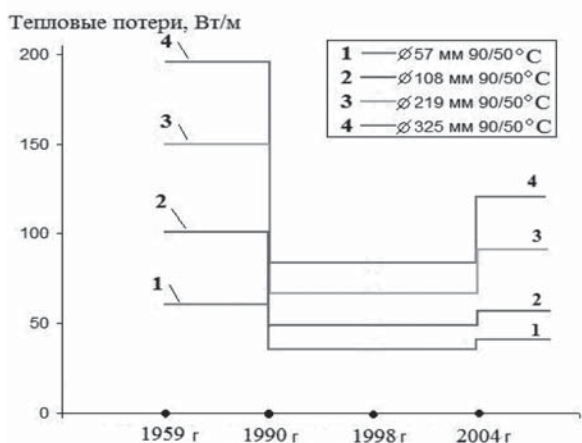


Рис. 2. Динамика требований СНиП к тепловым потерям с поверхности трубопроводов при бесканальном способе прокладки ( $T_{\text{прям}} = 90^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{обр}} = 50^\circ\text{C}$ ).

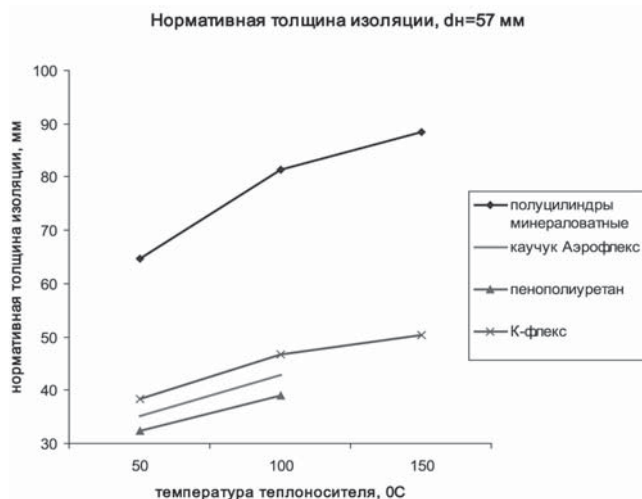


Рис. 3. Нормативная толщина изоляции трубопровода (надземная прокладка).

ционного покрытия с учетом энергетических и экономических показателей для известных способов прокладки трубопроводов. В практике проведения работ по изоляции неизолированных трубопроводов или замене изоляционного покрытия практически отсутствуют случаи определения оптимальной его толщины перед закупкой тепловой изоляции, что приводит к большим потерям тепловой энергии и в итоге – к значительным финансовым потерям. В основном это связано с отсутствием соответствующих программ расчета у теплоснабжающих и теплопотребляющих предприятий и непониманием руководителей энергослужбы предприятий важности данной работы.

4. Определение толщины тепловой изоляции данного типа с учетом всех влияющих факторов для

обеспечения требований СНиП. Данные расчеты также на практике практически не проводятся по причинам, отмеченным в предыдущем пункте.

Авторами разработан комплекс программ, удобных для пользователя, который позволяет быстро и качественно решать поставленные задачи.

В качестве примера остановимся на последних двух задачах, как наиболее сложных и интересных для практического применения.

В настоящее время при реконструкции тепловых сетей или прокладке новых для определения нормативных тепловых потерь должен использоваться СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» [2], а также СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов» [3]. По нормативным значениям плотности теплового потока производится расчет нормативной толщины изоляции, которая зависит от диаметра трубопровода, типа прокладки трубопроводов, от температуры теплоносителя и параметров окружающей среды.

Следует отметить, что требования СНиП меняются во времени, как правило, в сторону ужесточения, что, вероятно, оправданно. В то же время для некоторых диаметров трубопроводов в отдельные годы по неизвестным причинам они снижались.

На рис. 1 – 2 представлены графики, показывающие динамику требований к тепловым потерям от поверхности изоляции трубопроводов четырех диаметров 57 мм, 108 мм, 219 мм и 325 мм, в зависимости от способа прокладки. При подземной прокладке температура теплоносителя в прямом трубопроводе –  $90^\circ\text{C}$ , обратном –  $50^\circ\text{C}$ . Для надземной прокладки температура теплоносителя в прямом трубопроводе –  $100^\circ\text{C}$ , температура грунта на глубине заложения трубопрово-

дов принята  $+5^{\circ}\text{C}$ , в случае надземной прокладки температура наружного воздуха также  $+5^{\circ}\text{C}$ .

Как видно из рисунков, требования СНиП для тепловой изоляции обновляются не так часто. Начиная с 1959 г., было разработано только 4 нормативных документа, регламентирующих нормативы тепловых потерь теплоизолированных трубопроводов.

В качестве примера (рис. 3) приведена зависимость нормативной толщины изоляции (соответствующей требованиям СНиП и обеспечивающей нормативные тепловые потери) от температуры теплоносителя при надземном способе прокладки трубопровода с наружным диаметром 57 мм.

Очевидно, что для каждого теплоизоляционного материала существует своя толщина материала, обеспечивающая нормативные потери тепловой энергии.

К сожалению, на практике требуемая толщина теплоизоляции, как правило, вообще не рассчитывается, что характерно как для промышленных предприятий, так и МУП ЖКХ.

Следует отметить, что СНиП учитывает лишь общие тенденции к ужесточению требований к потерям тепла при транспорте теплоносителя. При этом сложно учесть влияние всех факторов, особенно экономических для всего перечня диаметров трубопроводов, поэтому определение требуемой толщины тепловой изоляции, обеспечивающей нормативные тепловые потери, не всегда является экономически обоснованным.

Наиболее правильным, на наш взгляд, является проведение расчета оптимальной толщины изоляционного покрытия для конкретных условий сегодняшнего дня с учетом оценки перспектив изменения основных влияющих факторов [4], [5].

Критерием оптимизации является минимум суммы затрат на покупку материала тепловой изоляции и покрывного материала, которые растут с увеличением толщины изоляции, и издержек на тепловые потери, которые, соответственно, уменьшаются с ростом толщины изоляции (рис. 4).

Для практических расчетов реализована компьютерная программа, которая позволяет определить оптимальную толщину теплоизоляции для конкретных условий работы трубопровода. Расчет возможен для различных видов прокладки трубопроводов: надземной, подземной бесканальной и подземной канальной. В каждом случае используются соответствующие типу прокладки формулы для расчета процесса теплообмена [6]. В программе учтено возможное изменение тарифа на теплоту в течение периода эксплуатации, а также ухудшение теплоизоляционных свойств тепловой изоляции.

В качестве расчетной температуры окружающей среды принимается среднегодовая температура наружного воздуха при надземной прокладке по СНиП «Строительная климатология» [7] и

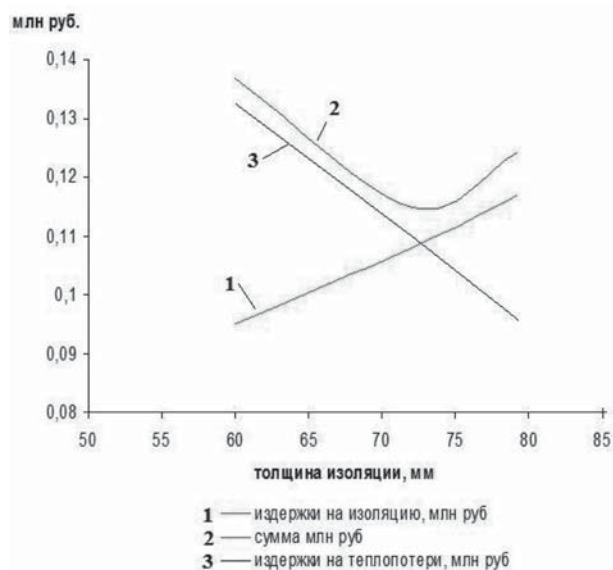


Рис. 4. Принцип оптимизации толщины изоляции.

среднегодовая температура грунта на глубине заложения оси теплопровода при подземной прокладке. За расчетную температуру теплоносителя принимается среднегодовая температура в зависимости от температурного графика тепловой сети.

Расчеты показали, что на величину оптимальной толщины теплоизоляции влияют такие факторы, как температура теплоносителя, диаметр трубопровода, коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала и его изменение в процессе эксплуатации, скорость ветра (при надземной прокладке), температура окружающей среды, а также срок эксплуатации трубопровода. Изменение теплофизических свойств теплоизоляции (в сторону увеличения коэффициента теплопроводности) характеризуется константой работоспособности материала [8].

Исключительно большое влияние на определение оптимальной толщины тепловой изоляции оказывает принадлежность источника теплоты и, соответственно, стоимость отпускаемой теплоты для потребителя. В случае стороннего источника величина экономии рассчитывается с учетом стоимости единицы тепла. Если же источник тепловой энергии принадлежит данной организации, ведущей работы по замене тепловой изоляции трубопроводов различного назначения или проектированию новых тепловых сетей, расчеты проводятся с учетом стоимости сэкономленного топлива. С учетом того, что топливная составляющая в себестоимости Гкал теплоты имеет определяющее значение, то принадлежность источника тепловой энергии может оказать большое влияние на выбор оптимальной толщины тепловой изоляции.

Большое влияние на величину оптимальной толщины теплоизоляции также оказывают исходные условия решаемой задачи, а именно, стоимость теплоизоляции.

Большой интерес представляет сравнение тол-

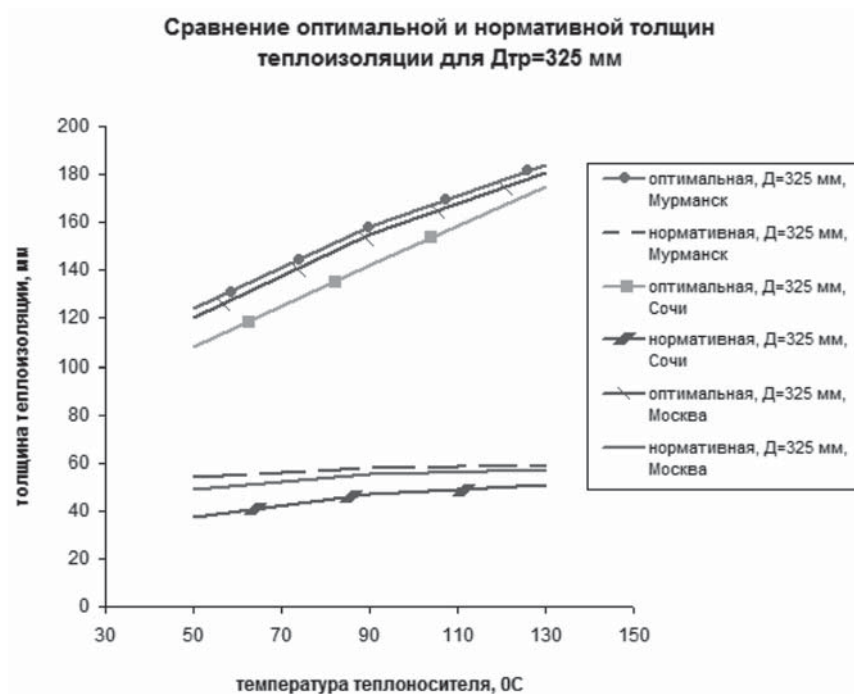


Рис. 5. Сравнение оптимальной и нормативной толщин теплоизоляции для  $D_{тр} = 325$  мм в зависимости от температуры теплоносителя ( $C_t=1300$  руб/Гкал).

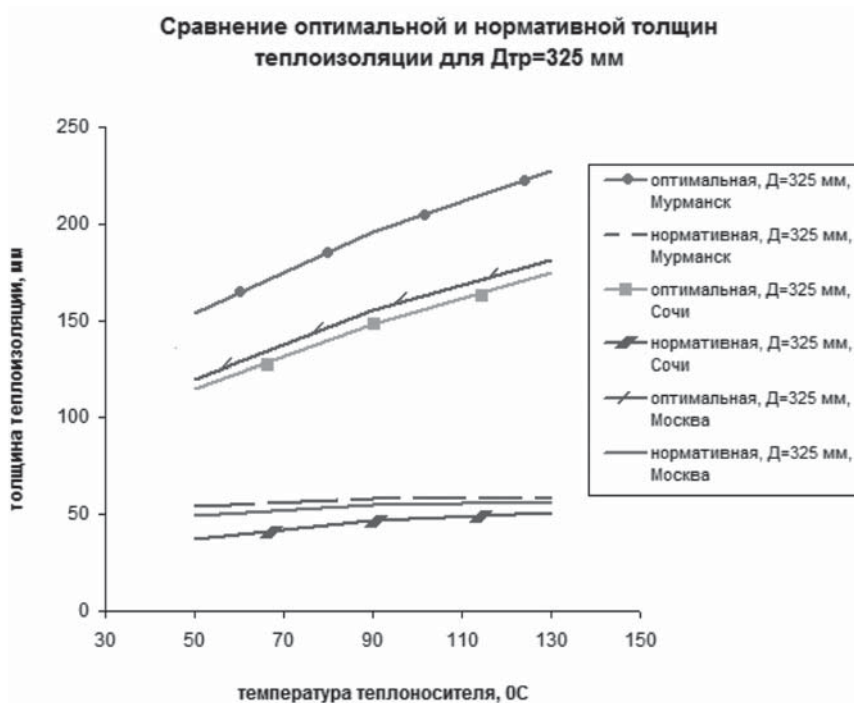


Рис. 6. Сравнение оптимальной и нормативной толщин теплоизоляции для  $D_{тр} = 325$  мм с учетом фактической стоимости тепловой энергии для каждого города.

щин тепловой изоляции, рассчитанных по нормам СНиП и определенные с использованием оптимизационных расчетов. На рисунках 5 и 6 приведены графики оптимальной и нормативной толщин теплоизоляции для трубопровода диаметром 325 мм при надземной прокладке трубопроводов. В качестве теплоизоляционного материала принята теплоизоляция из ППУ, расчеты произведены для температур теплоносителя 50, 90 и 130°C,

период эксплуатации трубопровода принят 20 лет. Климатические данные взяты из СНиП «Строительная климатология». Цена на теплоизоляцию с учетом монтажа принята одинаковая 27 000 руб/м<sup>3</sup>. Коэффициент удорожания тепловой энергии – 1,05.

Для определения степени влияния только температуры теплоносителя на выбор оптимальной толщины тепловой изоляции и толщины по данным СНиП, отпускная цена на тепловую энергию принята одинаковой для всех городов  $C_t = 1300$  руб/Гкал (рис. 5). На рис. 6 стоимость 1 Гкал тепловой энергии принималась по действующим в настоящее время значениям тарифов на тепловую энергию для каждого города.

Как следует из данных, представленных на рис. 5 и 6:

1. Оптимальная толщина тепловой изоляции не совпадает с толщиной изоляции, определенной по данным СНиП. Во всем диапазоне температур теплоносителя она существенно (в 2 – 4 раза) больше.

2. С увеличением температуры теплоносителя толщина тепловой изоляции, рассчитанная по данным СНиП, увеличивается незначительно, в то время как в случае расчета оптимальной ее толщины (что обеспечивает оптимальные тепловые потери с поверхности изоляции трубопроводов за расчетный период времени его эксплуатации) с ростом температуры теплоносителя толщина изоляции увеличивается на 50% и более.

3. При прочих равных условиях влияние температуры наружного воздуха на оптимальную толщину тепловой изоляции (например, климатические условия городов Сочи и Мурманска) не столь значительно (превышение для г. Мурманск составляет 10 – 2% и слабо зависит от температуры теплоносителя).

4. Влияние стоимости тепловой энергии на выбор оптимальной толщины тепловой изоляции весьма существенно. Так, с ростом стоимости тепловой энергии и влияния климатических условий городов, толщина изоляции увеличивается на 40 – 50 мм.

Таким образом, применение разработанной программы по определению оптимальной толщи-





ны тепловой изоляции позволяет оперативно проводить расчеты, выбирать оптимальный теплоизоляционный материал для конкретной тепловой сети, с учетом всех влияющих факторов, что позволяет экономить тепловую энергию и финансовые средства в течение всего периода эксплуатации системы ее транспорта.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

### Литература

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 30.12.2008 N 325 . Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии с изменениями от 1 февраля 2010.
2. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и теплопроводов.
3. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов.
4. Полуэктова Т.Ю., Хромченков В.Г., Яворовский Ю.В. Определение оптимальной толщины изоляции / Шестнадцатая Международная научно-техническая конференция «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: тез.докл. В 3-х т. М.: Издательский дом МЭИ, 2010, Т.3., С.489 – 490.
5. Шойхет Б. М., Овчаренко Е. Г., Мелех А. С. Региональные нормы по тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов / Энергосбережение. 2001.№6. С.65 – 67.
6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / М.: Издательство МЭИ, 2001, 472 с.
7. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
8. МДС 41-7.2004. Методика оценки влияния влажности на эффективность теплоизоляции оборудования и трубопроводов.

