

УДК 536.24:621.1.016.4

Коляда Г.Е.<sup>1</sup>, Коляда Ю.Е.<sup>2</sup>, Федун В.И.<sup>3</sup>

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА НА БОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ТЕПЛОТРАССАМ**

*Произведен сравнительный анализ централизованного и децентрализованного теплоснабжения. Показаны убедительные преимущества централизованного теплоснабжения, в котором важнейшим элементом являются магистральные теплотрассы. Составлена и решена математическая модель потерь тепла в протяженных теплотрассах в зависимости от конкретных технических и погодных условий. Сформулированы условия минимизации тепловых потерь.*

В настоящее время развитие теплоснабжения коммунальных и промышленных объектов развивается в двух направлениях: централизованного и децентрализованного. Преобладающим является первый тип – централизованное теплоснабжение, заключающееся в создании мощных тепловых станций и в строительстве магистральных теплотрасс большой протяженности. Децентрализованное теплоснабжение предусматривает создание мини котельных и исключает магистральные теплотрассы. Оба типа теплоснабжения имеют достаточное количество сторонников, как среди специалистов эксплуатационников, так и среди проектировщиков.

После крупномасштабных аварий в теплоснабжении ряда крупных городов, таких как Алчевск, Орджоникидзе (Днепропетровская обл.) и др. вопрос о выборе типа теплоснабжения стал ещё более актуальным. При этом наметились некоторые тенденции в пользу децентрализованного теплоснабжения, т. к. причину указанных аварий объясняют именно ненадёжностью и неэффективностью магистральных теплотрасс.

Однако, это ошибочное мнение. Централизованное теплоснабжение крупных потребителей имеет существенные преимущества по сравнению с децентрализованным:

1. При проектировании и строительстве крупных котельных, кроме желания подать теплоноситель к городским объектам преследуется ещё одна цель – за счёт высокой дымовой трубы рассеять вредные продукты сгорания котельного топлива в атмосфере и улучшить экологическую обстановку в населенных пунктах.

2. На крупных котельных и ТЭЦ можно сжигать газ, уголь и жидкие нефтепродукты, а на мини котельных – только газ.

Если же далее развивать проблему теплоснабжения, то необходимо учесть, что:

3. В Украине безвозвратно теряется огромное количество вторичного, в том числе, низкопотенциального тепла, следствием чего является колоссальное тепловое загрязнение окружающей среды. Утилизация вторичного тепла с использованием тепловых насосов [1,2] позволила бы в значительной мере решить проблему теплоснабжения ряда крупных промышленных центров.

4. Недостаточно внимания уделяется когенерации – совместному производству тепловой и электрической энергии, что позволяет в 1,5 раза увеличить коэффициент использования топлива [3,4]. По этому поводу недавно был принят соответствующий закон Украины [5].

В этой связи существует проблема создания магистральных теплотрасс большой протяженности, потери тепла на которых были бы сведены к минимуму.

Основным теплоизолирующим материалом до недавнего времени являлась минеральная вата. Если руководствоваться СНиП [6], то минеральная вата является неплохим

<sup>1</sup> ОАО «Транспрогресс», канд.техн.наук.

<sup>2</sup> ПГТУ, д-р физ.-мат. наук, проф.

<sup>3</sup> ПГТУ, ст.препод.

теплоизолятором. На практике же, изоляция трубопроводов минеральной ватой выполняется, как правило, в труднодоступных местах, что негативно отражается на её качестве. При этом за счёт изгиба происходит деформация минеральной плиты (уплотнение у поверхности трубы и разрывы на наружной поверхности изоляционного слоя), что существенно снижает её изолирующие свойства. В процессе эксплуатации через 1,5 – 2 года минеральная вата ещё больше теряет свои изолирующие свойства под воздействием атмосферных факторов и требует полной замены. Поэтому для устранения указанных недостатков необходимо применять современные теплоизоляционные материалы, доступные украинской теплоэнергетике уже сегодня. Таковыми являются предварительно изолированные трубы жёстким пенополиуретаном [7]. Приведенные здесь же результаты замеров потерь тепла в сетях теплоснабжения, изолированных пенополиуретаном и минеральной ватой, показали неоспоримые преимущества пенополиуретана, но не ответили на вопрос о величине потерь тепла при его транспортировке на большие расстояния.

В этой связи целью работы является изучение эффективности передачи тепла на большие расстояния по магистральным трубопроводам и определение условий при которых потери тепла будут сведены к минимуму.

В следующей части работы представлены эти результаты. Расчёты выполнялись для тепловых сетей наружной прокладки с внутренним диаметром трубы 50, 100, 200, 300 и 600 мм. Диаметр наружной изоляции согласно ГСТУ 34-204-88-002-98 составлял 125, 200, 315, 450 и 800 мм. Рассматривался широкий диапазон режимов. В частности, приводятся результаты расчётов потерь тепла для теплоносителя с начальной температурой 70 и 110 °С, при температуре наружного воздуха 0 и -40°С и скорости ветра до 5,6 м/с.

Для расчета потерь тепла в единицу времени единицей длины теплоизолированной трубы применяется известное соотношение [8]

$$q = \frac{t_T - t_g}{\frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d_k}{d_n} + \frac{1}{\alpha_n \pi d_k}} \left[ \frac{Вт}{м} \right] \quad (1)$$

Здесь  $t_T$  - температура теплоносителя,  $t_g$  - температура воздуха,  $\lambda_{из}$  - коэффициент теплопроводности материала теплоизоляции (пенополиуритана),  $d_k$  - наружный диаметр изоляционной конструкции,  $d_n$  - наружный диаметр изолируемого объекта, (теплоносителя);  $\alpha_n$  - коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции. Первый член в знаменателе характеризует термическое сопротивление теплоизолирующего слоя, второй – сопротивление теплоотдаче на внешней поверхности теплоизолированного слоя.

Эта формула широко используется во всех руководящих документах и позволяет вычислять потери тепла при заданной длине трубопровода и всех известных величинах, входящих в данное уравнение. Однако при этом не учитывается важное обстоятельство – факт изменения температуры теплоносителя по мере его движения вдоль трубы. Скорость изменения температуры теплоносителя вдоль трубопровода зависит от многих факторов: диаметра трубы, скорости течения жидкости в ней, что определяется в свою очередь производительностью нагнетательных насосов, температурой окружающего воздуха, скоростью ветра.

Для описания этой самосогласованной задачи и учета указанных явлений было составлено дифференциальное уравнение, учитывающее факт изменения температуры теплоносителя по мере потери им тепла. Это уравнение имеет вид:

$$\frac{dt_T}{dx} = - \frac{t_T - t_g}{1000 C_T G \left( \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{d_k}{d_n} + \frac{1}{\alpha_n \pi d_k} \right)}, \quad (2)$$

где  $x$  - продольная координата трубы;  $C_T$  - удельная теплоемкость теплоносителя(воды),  $G$  - массовый расход теплоносителя.

Данное уравнение решалось в трех приближениях: 1 – в соответствии с нормативными документами СНиП [6], согласно которому коэффициент  $\alpha_n$  принимается постоянным; 2 – при отсутствии ветра [9]; 3 – при наличии ветра [8]. В этих случаях коэффициент теплоотдачи  $\alpha_n$  определялся как сумма конвективного и лучистого коэффициентов теплоотдачи. При этом возникает сложная зависимость от температуры указанных коэффициентов и решение уравнения (2) существенно усложняется. Поэтому оно решалось численными методами. Во всех случаях расход теплоносителя принимался согласно [10].

В графическом виде результаты расчётов представлены на рис. 1 и 2.

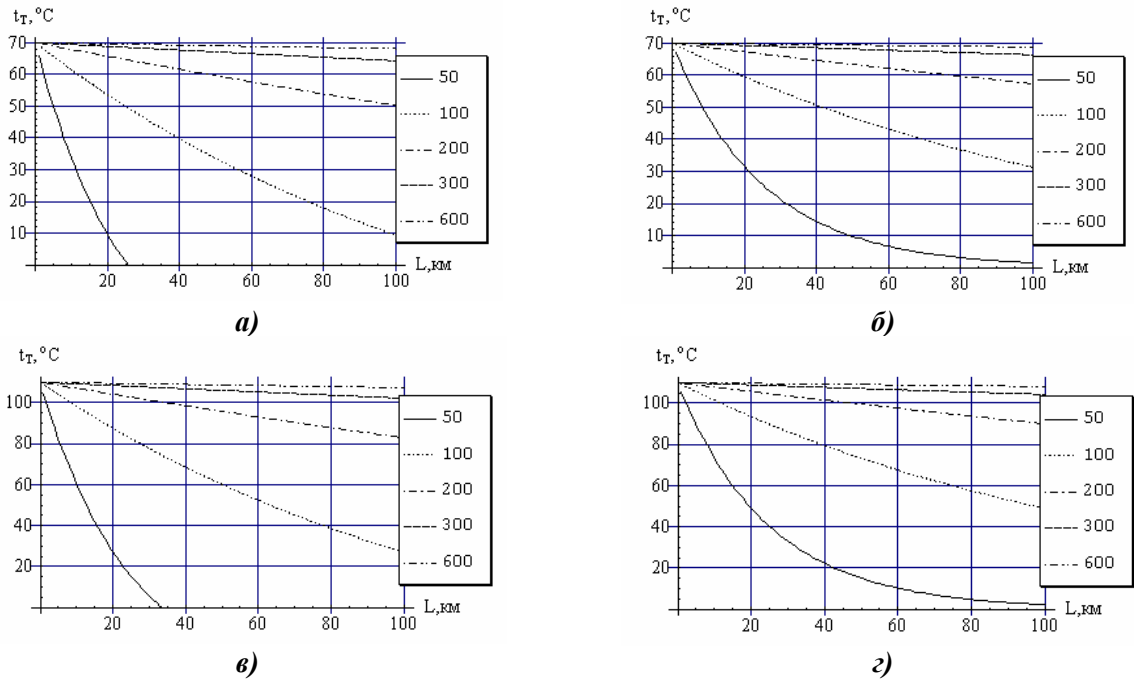


Рис. 1 – Изменение температуры теплоносителя вдоль трубопровода с диаметрами 50, 100, 200, 300 и 600 мм: **а)** температура теплоносителя  $t_T = 70$  °C, температура воздуха  $t_B = -40$  °C, **б)**  $t_T = 70$  °C,  $t_B = 0$  °C, **в)**  $t_T = 110$  °C,  $t_B = -40$  °C, **з)**  $t_T = 110$  °C,  $t_B = 0$  °C.

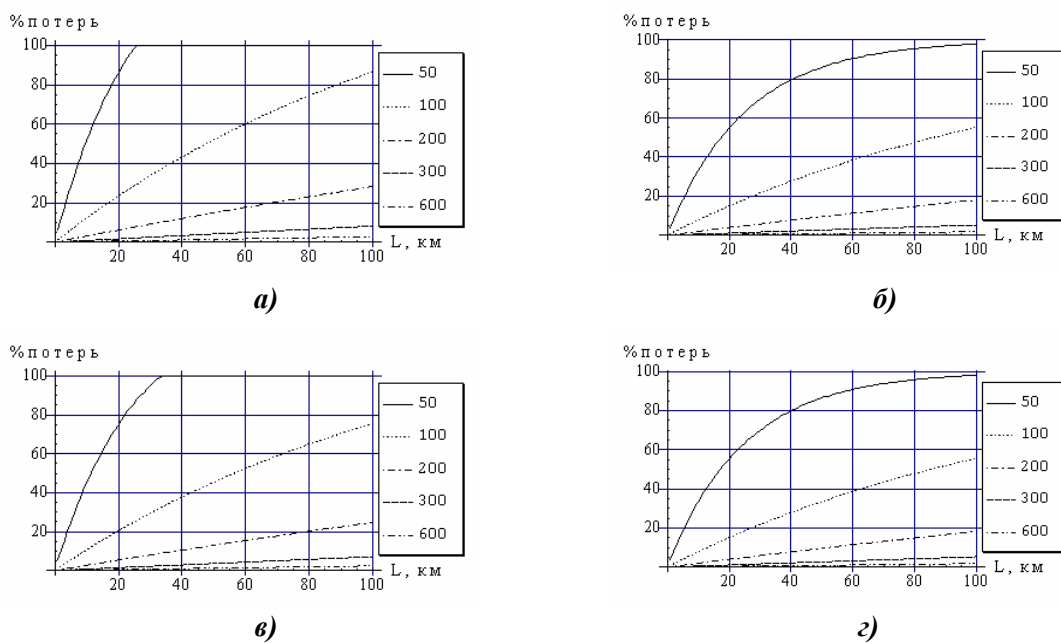


Рис. 2 – Потери тепла вдоль трубопровода с диаметрами 50, 100, 200, 300 и 600 мм: **а)** температура теплоносителя  $t_T = 70$  °C, температура воздуха  $t_B = -40$  °C, **б)**  $t_T = 70$  °C,  $t_B = 0$  °C, **в)**  $t_T = 110$  °C,  $t_B = -40$  °C, **з)**  $t_T = 110$  °C,  $t_B = 0$  °C.

Как видно из приведенных графиков, для трубопроводов диаметром 50 мм, температура теплоносителя резко снижается при увеличении его длины и приближается к температуре окружающей среды уже вблизи отметки 25-30 км, что соответствует потерям тепла 100 %. Для трубопровода диаметром 100 мм кривая потерь тепла более пологая. Для трубопровода диаметром 200 мм на расстоянии 100 км потери тепла составляют 20 – 30 %. Но уже при диаметре трубопровода 300 мм потери тепла при его транспортировке на расстояние 100 км не превышают 10 %, а для трубопровода диаметром 600 мм – 2 – 3 %.

Таким образом, доказана реальность передачи тепла по магистральным сетям большого диаметра с минимальными потерями на большие расстояния – до 100 км. А это существенно повышает преимущества когенерации и, особенно крупных ТЭЦ перед иными способами теплоснабжения.

В [7] приведены результаты замеров потерь тепла на 1 погонный метр трубопроводов диаметром 200 мм, изолированных минеральной ватой после двухгодичной эксплуатации и пенополиуретаном при температуре воздуха +13 °С. В первом случае потери составили 140 ккал/м · час, а во втором – 18 ккал/м · час, что соответствует проведенным расчетам.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку и создание промышленных технологий изоляции паропроводов с температурой выше 150 °С.

#### *Выводы*

1. Предложена математическая модель, позволяющая вычислять потери тепла при заданной длине трубопровода и всех известных параметрах, влияющих на процесс теплопередачи. При этом учтен факт изменения температуры теплоносителя по мере движения его вдоль трубы.

2. Применение труб, предварительно изолированных пенополиуретаном, не только минимизирует потери тепла в сетях теплоснабжения, но и реабилитирует систему централизованного отопления городов, открывает перспективу эффективного использования низкопотенциального тепла крупных предприятий, позволяет максимально реализовать все преимущества ТЭЦ и практически без потерь передавать тепловую энергию на большие расстояния.

#### *Перечень ссылок*

1. *Богданов А.Б.* Тепловой насос и теплофикация. / *А.Б. Богданов* // Энергосбережение. – 2003. - №12. – С. 6-8.
2. *Колтаков В.И.* Альтернативные системы теплоснабжения с использованием тепловых насосов. / *В.И. Колтаков* // Энергосбережение. – 2003. - №3. – С. 11-12.
3. *Михайленко І.* Про енергозбереження – відкрито. / *І. Михайленко* // Энергосбережение. – 2005. - №10. – С. 5-11. - №11. – С. 3-7.
4. *Паршин А.А.* Энергоэффективные технологии XXI столетия. / *А.А. Паршин* // Энергосбережение. – 2005. - №1. – С. 2-12.
5. Закон Украины «О комбинированном производстве тепловой и электрической энергии (когенерации) и использовании сбросового энергopotенциала» // Энергосбережение.– 2005.- №11.– С.28-32.
6. СНиП 2.04.М-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – Госстрой России. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1998. – 28 с.
7. *Борисов Н.Г.* Опыт применения труб, изолированных жестким пенополиуретаном, в г.Счастье Луганской области. / *Н.Г. Борисов* // Энергосбережение. 2002. №6. С. 6-8.
8. *Кузнецов Г.Ф.* Тепловая изоляция. 4-е издание переработанное и дополненное. – Серия: Справочник строителя. /*Г.Ф. Кузнецов, В.П. Горбачов, В.И. Бельский.* – М.: Стройиздат. – 1985. – 421 с.
9. *Михеев М.А.* Основы теплопередачи. / *М.А. Михеев, И.М. Михеев.* – М.:Энергия. – 1977. – 344 с.
10. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1965. – 360 с.

Статья поступила 03.03.2006