

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТРУБОПРОВОДАМИ

СОЗИНОВ В.П., д-р техн. наук, КУЛАГИН С.М., канд. техн. наук, КОРЯГИН А.Н., асп.

Представлены результаты исследований влияния различных факторов на тепловые потери в трубопроводах. На основе технико-экономического анализа получены уравнения, позволяющие выбрать оптимальные нормы удельных тепловых потерь при проектировании тепловой изоляции оборудования и трубопроводов.

Ключевые слова: трубопровод, тепловые потери, теплоизоляция.

TECHNICAL-ECONOMIC BASE FOR CHOOSING SPECIFIC HEAT LOSS IN PIPELINES

V.P. SOZINOV, Ph.D., S.M. KULAGIN, Ph.D., A.N. KORYAGIN, postgraduate

This paper is devoted to the results of research of different factors influence upon heat loss in pipelines. Using technical-economic analysis, the authors have got the equations, which allow choosing optimal norms of specific heat loss while equipment and pipeline thermal protection designing.

Key words: pipeline, heat loss, thermal protection.

Принятое недавно Положение об организации в Министерстве промышленности и энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии является первым звеном в деле проведения целенаправленной энергосберегающей политики и упорядочения тарифов для населения.

Сложившаяся система нормирования тепловых потерь не позволяет учитывать многих факторов, определяющих эффективность работы системы теплоснабжения. Более правильным в современных условиях представляется переход к практике гибкого нормирования, учитывающего конъюнктуру цен на тепловую энергию и теплоизоляционные материалы в данном регионе, а также специфику условий эксплуатации теплоизоляционных конструкций.

На тепловые потери трубопроводов большое влияние оказывают конструктивные, климатические, экономические и эксплуатационные факторы.

Конструктивные факторы включают в себя диаметр (d_n) и длину трубопровода (L), способ прокладки, вид теплоизоляционного материала ($\lambda_{из}$) и его толщину ($\delta_{из}$), наличие местных потерь теплоты.

К климатическим факторам можно отнести расчетную температуру наружного воздуха (t_n), среднюю температуру грунта ($t_{гр}$), продолжительность отопительного периода (n_o).

К экономическим – стоимость изоляции ($c_{из}$), стоимость тепловой энергии (c_T), стоимость монтажных работ (c_m), транспортные расходы ($c_{тр}$), а также амортизационные отчисления ($c_{ам}$).

К эксплуатационным факторам относят температуру теплоносителя (τ), расход воды (G), тепловую нагрузку (Q), долю тепловых потерь трубопроводами в годовом потреблении теплоты.

Учесть все эти факторы при оптимизации тепловых сетей возможно за счет введения некоторого единого обобщенного показателя, например, совокупных затрат.

Было получено уравнение совокупных затрат (Z), в которое вошли все перечисленные выше факторы, а также удельные тепловые потери (q) 1 м трубы.

Если инвестиции осуществляются однократно, то формула имеет вид

$$Z = K_{инв} + \frac{\mathcal{E}_t}{(1+R)^t},$$

где $K_{инв}$ – капитальные затраты, руб.; \mathcal{E}_t – годовые эксплуатационные расходы, руб.; R – норма дисконта; t – расчетный год.

Капитальные затраты определяются типом изоляционной конструкции, диаметром и длиной трубопровода. Их можно определить из выражения

$$K_{инв} = k_{тр} k_m c_{из} V_{из},$$

где $k_{тр}$ – коэффициент, учитывающий транспортные расходы; k_m – коэффициент, учитывающий монтажные работы; $c_{из}$ – стоимость изоляции, руб/м³; $V_{из}$ – объем изоляции, м³.

Объем теплоизоляционного материала находится по формуле

$$V_{из} = \pi d_{из}^{cp} \delta_{из} L = \pi (d_n + \delta_{из}) \delta_{из} L,$$

где d_n – наружный диаметр стенки трубы, м; $\delta_{из}$ – толщина изоляции, м.

Выразим толщину тепловой изоляции через плотность теплового потока. Для простоты пренебрегаем термическим сопротивлением стальной трубы.

Согласно нормам [2], толщина тепловой изоляции трубопроводов определяется по формуле

$$\delta_{из} = \frac{d_n (B - 1)}{2}.$$

Для цилиндрической поверхности диаметром менее 2 м имеет место уравнение

$$\ln B = 2\pi\lambda_{из} \left[\frac{K(\tau - t_n)}{q} - R_H^L \right],$$

где $B = \frac{d_n + 2\delta_{из}}{d_n}$; $\lambda_{из}$ – коэффициенты теплопроводности изоляции, Вт / (м²·°C); K – коэффициент дополнительных потерь [2], учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор; τ – температура теплоносителя, °C; t_n – температура окружающей среды, °C; q –

плотность теплового потока, Вт/м; R_H^L – линейное термическое сопротивление теплопередаче на наружной поверхности изоляции, м²С/Вт [2].

Итак,

$$\frac{d_H + 2\delta_{из}}{d_H} = e^{2\pi\lambda_{из}\left(\frac{K(\tau-t_H)-R_H^L}{q}\right)}$$

Из этого соотношения получаем

$$\delta_{из} = \left(e^{2\pi\lambda_{из}\left(\frac{K(\tau-t_H)-R_H^L}{q}\right)} - 1 \right) \frac{d_H}{2}$$

С учетом этого выражения формула объема тепловой изоляции примет вид

$$V_{из} = \pi \left[d_H + \left(e^{2\pi\lambda_{из}\left(\frac{K(\tau-t_H)-R_H^L}{q}\right)} - 1 \right) \frac{d_H}{2} \right] \times \left(e^{2\pi\lambda_{из}\left(\frac{K(\tau-t_H)-R_H^L}{q}\right)} - 1 \right) \frac{d_H}{2} L$$

Эксплуатационные расходы определяются как стоимость годовых тепловых потерь трубопроводами, руб/год,

$$\mathcal{E}_t = C_m q L n_o \cdot 3600 \cdot 10^{-9},$$

где C_m – стоимость тепловой энергии, руб/ГДж; L – протяженность теплопровода, м; n_o – число часов работы теплопровода в год, ч.

Окончательно выражение для определения совокупных затрат примет вид

$$Z(q) = k_{mp} k_M c_{из} \pi \left[d_H + \left(e^{2\pi\lambda_{из}\left(\frac{K(\tau-t_H)-R_H^L}{q}\right)} - 1 \right) \frac{d_H}{2} \right] \times \left(e^{2\pi\lambda_{из}\left(\frac{K(\tau-t_H)-R_H^L}{q}\right)} - 1 \right) \frac{d_H}{2} L + \frac{C_m q L n_o \cdot 3600 \cdot 10^{-9}}{(1+R)^t}$$

Чтобы определить вид полученной зависимости, в нее подставлены численные показатели (табл. 1) и построен график $Z(q)$ (рис. 1):

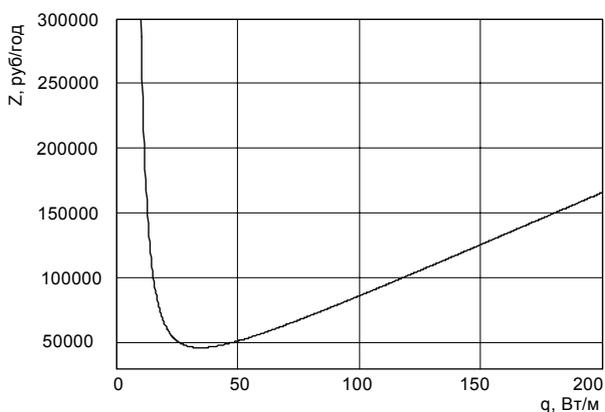


Рис. 1. График зависимости совокупных затрат от удельных линейных тепловых потерь

График показывает, что функция имеет четко выраженный минимум, который может быть найден из условия $\frac{dZ}{dq} = 0$.

Таблица 1. Исходные данные для построения графика

Наименование	Значение
Коэффициент транспорта k_{mp}	1,2
Коэффициент монтажа k_M	1,5
Диаметр трубопровода d_H , м	0,1
Длина трубопровода L , м	100
Коэффициент дополнительных потерь K	1,2
Линейное термическое сопротивление R_H^L , м ² С/Вт	0,07
Температура теплоносителя τ , °С	50
Температура окружающей среды t_H , °С	-3,9
Число часов работы теплопровода n_o , ч	5256
Норма дисконта R	0,15
Расчетный год t	1
Стоимость тепловой энергии C_m , руб/ГДж	500
Стоимость тепловой изоляции $c_{из}$, руб/м ³	9140
Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ² С	0,038

$$\frac{dZ}{dq} = -\frac{1}{25 \cdot 10^5} L \frac{-25 \cdot 10^5 k_{mp} k_M c_{из} \pi^2 \lambda K}{q^2} \times e^{-4\pi\lambda \frac{-K\tau + Kt_H + R_H^L q}{q}} \cdot d^2 \tau + \frac{25 \cdot 10^5 k_{mp} k_M c_{из} \pi^2 \lambda K}{q^2} \times e^{-4\pi\lambda \frac{-K\tau + Kt_H + R_H^L q}{q}} \cdot d^2 t_H + \frac{9 C_m n_o}{(1+R)^t}$$

Оптимальное значение удельных линейных тепловых потерь, соответствующее этому условию, получено с помощью программного средства «Mathcad» и составило 29,1 Вт/м, что существенно отличается от нормативного значения [1], равного 19 Вт/м при тех же исходных данных.

С использованием полученных зависимостей проведен анализ влияния различных факторов на величину оптимальных тепловых потерь в трубопроводах (табл. 2). Оценивалось влияние климатических условий района строительства, вида и стоимости тепловой изоляции, тарифов на тепловую энергию.

Для анализа условно выбраны некоторые произвольные показатели: два климатических района (центральный Европейский и более суровый Северный) [3]; два вида тепловой изоляции (пенополиуретан, $\lambda = 0,038$ Вт/м²С, и минеральная вата, $\lambda = 0,055$ Вт/м²С); две системы теплоснабжения с различными тарифами на тепловую энергию (от ТЭЦ $C_T = 800$ руб/ГДж и от котельной $C_T = 2000$ руб/ГДж).

Согласно действующим нормам [1], для всех вариантов расчета (табл. 2) нормативные удельные линейные тепловые потери одинаковы и составляют 19 Вт/м.

Таблица 2. Результаты вычислений

Вариант	Средняя температура наружного воздуха, °С	Вид тепловой изоляции		Стоимость тепловой энергии, руб/ГДж	Удельные линейные тепловые потери, Вт/м
		λ , Вт/(м·°С)	Стоимость, руб/м ³		
1	-3,9	0,038	9140	800	29,1
2	-6,3	0,038	9140	800	30
3	-3,9	0,038	9140	2000	21,9
4	-3,9	0,055	3050	2000	22,1
5	-3,9	0,055	3050	800	27

Анализ результатов показывает, что влияние климатических условий на выбор оптимальных нормативов удельных тепловых потерь незначительно (варианты 1 и 2). Больше влияние оказывают стоимостные показатели. Для более дорогой изоляции (ПГУ) значения оптимальных удельных тепловых потерь выше (варианты 1 и 5). Это говорит о том, что дальнейшее снижение тепловых потерь за счет увеличения капитальных вложений в тепловую изоляцию становится нецелесообразным. В тоже время с ростом тарифа на тепловую энергию стоимость годовых тепловых потерь становится сопоставимой с затратами на сооружение тепловой изоляции. Этот факт подтверждается расчетом: для большей стоимости тепловой энергии удельные линейные тепловые потери меньше (вариант 1 и 3, 4 и 5).

Для центрального региона со средней температурой наружного воздуха $-3,9^{\circ}\text{C}$ [3] получена зависимость стоимости тепловой энергии от оптимальных удельных линейных тепловых потерь (рис. 2).

Созинов Владимир Петрович,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой промышленной теплоэнергетики,
телефон (4932) 26-97-24,
e-mail: nelli@pte.ispu.ru

Кулагин Станислав Михайлович,

Ивановский государственный архитектурно-строительный университет,
кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
e-mail: nelli@pte.ispu.ru

Корягин Алексей Николаевич,

ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры промышленной теплоэнергетики,
телефон (4932) 26-97-24,
e-mail: nelli@pte.ispu.ru

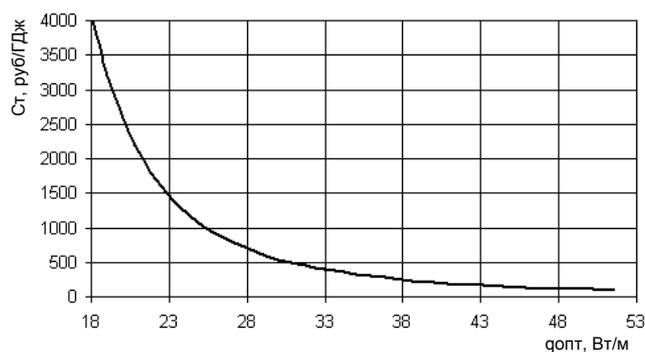


Рис. 2. График зависимости стоимости тепловой энергии от оптимальных удельных тепловых потерь

Подводя итоги сказанному, следует отметить, что для различных регионов, отличающихся климатическими показателями, стоимостью теплоизоляционных материалов и тарифами на тепловую энергию, оптимальные удельные тепловые потери различны. Следовательно, необходимо разработать территориальные нормы по проектированию тепловой изоляции оборудования и трубопроводов, что позволит оптимизировать тепловые потери в трубопроводах с учётом всех влияющих на них факторов.

Список литературы

1. **СНИП 41-03-2003** Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. ГОССТРОЙ РОССИИ.
2. **СП 41-103-2000** Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. ГОССТРОЙ РОССИИ.
3. **СНИП 23-01-99(2003)** Строительная климатология. ГОССТРОЙ РОССИИ.