

УДК 658.264

Ю.Д. Земенков, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой транспорта углеводородных ресурсов Института транспорта, Тюменский государственный нефтегазовый университет; **Б.В. Моисеев**, д.т.н., профессор, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет; **С.М. Дудин**, ассистент, Тюменский государственный нефтегазовый университет; **Н.В. Налобин**, к.т.н., доцент, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

Методика определения оптимальной толщины изоляции наземных трубопроводов

В предлагаемой работе уточнена методика тепловых расчетов трубопроводов на базе полученных новых результатов. Для определения оптимальной толщины изоляции наземных трубопроводов предложена целевая функция. Получены зависимости целевой функции от толщины изоляции трубопроводов.

Ключевые слова: трубопровод, теплоизоляция.

ВВЕДЕНИЕ

Обустройство нефтяных и газовых месторождений требует сооружения различных трубопроводов (водопроводов, газопроводов и нефтепроводов) при наземной прокладке. Для поддержания необходимых параметров технологических сред в трубопроводах их покрывают тепловой изоляцией. В ЗАО «Сибпромкомплект» (Тюмень) действует новый цех теплогидроизоляции для нефте- и газопроводов диаметром от 420 до 1220 мм. Для выбора оптимальной толщины изоляции трубопроводов необходимо иметь методику расчета. В предлагаемой статье уточнена методика тепловых расчетов трубопроводов на базе полученных новых результатов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим расчетную модель по определению оптимальной толщины изоляции трубопровода (рис. 1). Температура теплоносителя на входе принимается t' . Если температура теплоносителя на входе равняется t' , то его температура в сечении с координатой «х» определяется аналогом формулы Шухова:

$$t_{(ж)}(x, \tau) = t_H(\tau) + [t' - t_H(\tau)] \exp\left(-\frac{x}{l_{хар}}\right), \quad (1)$$

где $l_{хар}$ – параметр с размерностью «м», определяющий скорость падения температуры теплоносителя по длине трубопровода и вычисляемый по формуле:

$$l_{хар} = \frac{GC}{2\pi\lambda_{из}} \ln\left(\frac{D_H + 2\delta_{из}}{D_H}\right), \quad (2)$$

где G, C, t' – массовый расход, удельная теплоемкость и входящая температура теплоносителя; $\delta_{из}, \lambda_{из}$ – толщина и теплопроводность ППУ-изоляции; D_H, L – наружный диаметр и длина трубопровода; $t_H(\tau)$ – температура наружного воздуха в момент времени τ .

При выводе формулы (2) учитывается, что вследствие низкого термического сопротивления металлической стенки трубопровода и высокого значения коэффициента вынужденного конвективного теплообмена на внутренней поверхности трубопровода полное сопротивление теплопередачи от теплоносителя к наружному воздуху определяется в основном термическим сопротивлением изоляции.

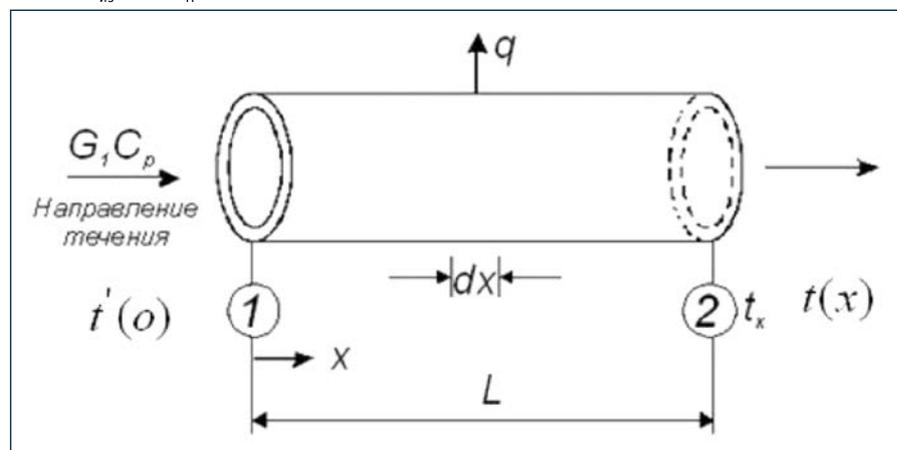


Рис. 1. Расчетная модель по определению оптимальной толщины изоляции трубопровода

Линейная плотность теплового потока может быть определена с помощью уравнения (1):

$$q_l(x, \tau) = \frac{2\pi\lambda_{из} [t_{ж}(x, \tau) - t_H(\tau)]}{\ln\left(\frac{D_H + 2\delta_{из}}{D_H}\right)} = \frac{2\pi\lambda_{из} [t' - t_H(\tau)]}{\ln\left(\frac{D_H + 2\delta_{из}}{D_H}\right)} = \exp\left(-\frac{x}{l_{хар}}\right). \quad (3)$$

Далее выберем достаточно короткий участок трубопровода длины l_1 и определим мощность теплопотерь на этом участке:

$$Q(l_1) = \int_0^{l_1} q_l(x, \tau) dx = GC[t' - t_H(\tau)] \left[1 - \exp\left(-\frac{l_1}{l_{хар}}\right)\right]. \quad (4)$$

Составим следующую стоимостную целевую функцию $\Phi_1(l_1)$ для участка длины $l_1 [1, 2]$:

$$\Phi(l_1) = \Phi_0(l_1) + \Phi_1(l_1) + C_{из} V_{из}(l_1) + C_Q TQ(l_1), \quad (5)$$

где $\Phi_0(l_1)$ – полные капитальные затраты при строительстве трубопровода за вычетом стоимости теплоизоляции; $C_{из}$, C_Q – соответственно удельные стоимости теплоизоляции (в руб./м³) и теплоэнергии (в руб./Дж); $V_{из}(l_1)$ – объем изоляции на участке l_1 ; T – нормативный срок окупаемости дополнительных капиталовложений.

$V_{из}$ находится из соотношения:

$$V_{из}(l_1) = \pi(D_H \delta_{из} + \delta_{из}^2) l_1. \quad (6)$$

Оптимальная толщина изоляции $\delta_{из}$ находится из условия минимума целевой функции $\Phi(l_1)$:

$$\frac{d\Phi(l_1)}{d\delta_{из}} = \frac{d\Phi_1(l_1)}{d\delta_{из}} = 0 \quad (7)$$

и является корнем следующего нелинейного уравнения:

$$\pi C_{из} (D_H + 2\delta_{из}) - C_Q TGC[t' - t_H(\tau)] \exp\left(-\frac{l_1}{l_{хар}}\right) \frac{1}{l_{хар}^2} \frac{dl_{хар}}{d\delta_{из}} = 0 \quad (8)$$

По найденному из (8) значению $\delta_{из}$ из (2) определяется значение $l_{хар}$, что позволяет, в свою очередь, из (1) вычислить температуру теплоносителя $t_{ж}(l_1, \tau)$ в сечении $x = l_1$.

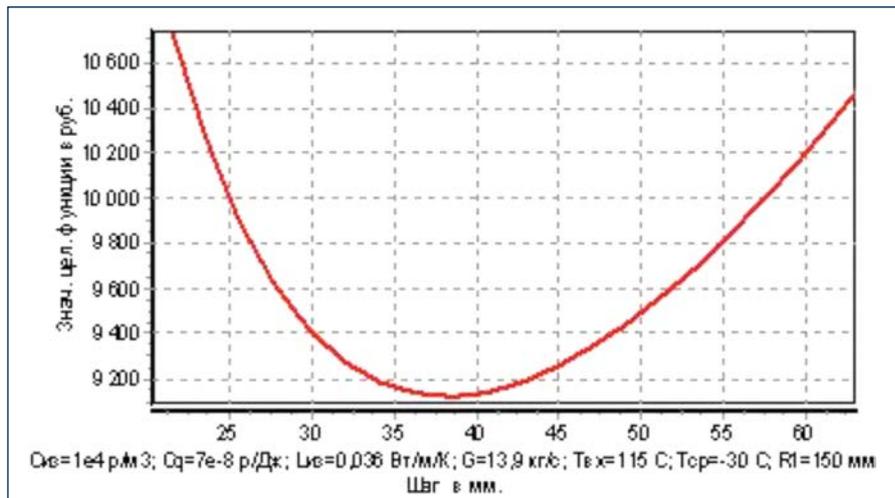


Рис. 2. График зависимости целевой функции от толщины изоляции



После этого выбирается следующий участок трубопровода длины l_2 , для него составляется аналогично (5) целевая функция $\Phi(l_2)$, при этом входной температурой теплоносителя для этого участка является $t' = t_{ж}(l_1, \tau)$. Минимизируя $\Phi(l_2)$, находим оптимальную толщину $\delta_{из}$ изоляции на этом участке и т.д.

В таблице приведены значения полученных параметров при следующих расчетных данных (на примере трубопровода): $D_H = 0,159$ м; $C = 4250$ Дж/(кг·К); $L = 10$ км; $G = 13$ кг/с; $\lambda_{из} = 0,036$ Вт/(м·К); $\delta_{из} = 45$ мм; $t_H(\tau) = -30$ °С (Новый Уренгой, январь) [4, 5]. Для выяснения «остроты» – минимума вычислим по предлагаемой методике

Таблица. Значения параметров, полученных при оптимизации целевой функции на участках разбиения l_i

l_i , км	δ_i , мм	$l_{i, хар}$, км	$t'_{i, r}$, °С	$t''_{i, r}$, °С	$\Phi_{i, r}$, руб.
2,0	46,6	113,3	115	112,5	1,52
2,0	46,3	112,63	112,5	110	1,51
2,0	45,9	111,9	110	107,5	1,49
2,0	45,6	111,3	107,5	105,1	1,48
2,0	45,2	110,4	105,1	102,6	1,46
					$\Sigma \Phi_{ii} = 7,46$

Ощутите прогресс.

Преимущества трубоукладчиков Liebherr:

- Мощная бесступенчатая гидростатическая трансмиссия
- Кабина повышенной комфортности и управление посредством джойстиков
- Высокий отклик и точная работа гидравлики
- Безопасность: защита кабины от опрокидывания в серийной комплектации



ЛИБХЕРР-РУСЛАНД ООО
РФ, 121059, Москва, ул. 1-я Бородинская, 5
Москва: тел.: (495) 710 83 65, факс: 710 83 66
РСК*: тел.: (495) 710 74 10, факс: 710 74 04
Санкт-Петербург: тел.: (812) 448 84 10, факс: 448 84 11
Краснодар: тел.: (861) 238 60 07, факс: 238 60 08
Екатеринбург: тел.: (343) 345 70 50, факс: 345 70 52
Новосибирск: тел.: (383) 230 10 40, факс: 230 10 41
Кемерово: тел.: (3842) 34 59 00, факс: 34 64 65
Хабаровск: тел.: (4212) 74 78 47, факс: 74 78 49
* - Ремонтно-складской комплекс
E-mail: office.ru@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.ru

LIEBHERR

Группа компаний

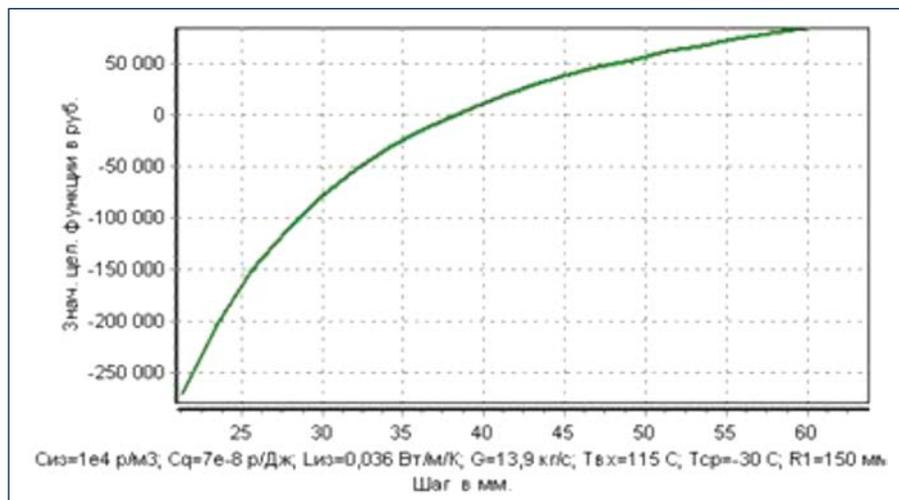


Рис. 3. Производная функции цели

значения $\Phi_1(L)$ для $L_1=L$ при минимальном и максимальном значениях $\delta_{из}^{\min}$;

$\delta_{из}^{\min} = 45,2$ мм $\Phi_1(L_1) = 7,3$ млн руб.

$\delta_{из}^{\max} = 46,6$ мм $\Phi_2(L_1) = 7,6$ млн руб.

При различных параметрах авторами были выполнены расчеты и по предла-

гаемому алгоритму построены зависимости, которые приведены на рисунках 2 и 3.

Анализ полученных значений целевой функции показывает, что минимум целевой функции является достаточно пологим, что обеспечивает свободу в выборе толщины изоляции. Проведенные исследования позволяют аналитически обосновать определение оптимальной толщины изоляции трубопровода при наземной прокладке и решить вопросы энергосбережения.

Исследования и выполненные расчеты по наземной прокладке трубопроводов позволили авторам дать рекомендации, направленные на снижение энергопотребления и увеличение надежности трубопроводов.

Исследования выполнялись на основании целевой и комплексной программы «Нефть и газ Западной Сибири».

Литература:

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.
2. Земенков Ю.Д., Моисеев Б.В., Илюхин К.Н., Налобин Н.В. Математическая модель температурного режима трубопроводов в вечномёрзлых грунтах // Известия вузов. Нефть и газ. – 2012. – № 4. – С. 96–99.
3. Илюхин К.Н., Налобин Н.В. Повышение энергоэффективности и снижение теплотерь в системах теплоснабжения нефтегазовых объектов на севере Западной Сибири. – СПб.: ООО «Недра», 2007.
4. СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов». – М.: Госстрой, 2004. – 29 с.
5. СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети». – М., 2004. – 39 с.
6. Исследование тепловых процессов на объектах трубопроводного транспорта: Учебное пособие / Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2008. – 224 с.

UDC 658.264

Yu.D. Zemenkov, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Head of the Chair for Transportation of Hydrocarbon Resources of the Institute of Transport, Tyumen State Oil and Gas University; **B.V. Moiseev**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering; **S.M. Dudin**, Assistant, Tyumen State Oil and Gas University, e-mail: srghome@mail.ru; **N.V. Nalobin**, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, e-mail: kpt@tgasu.ru, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering

Optimum Thickness Definition Technique Of Ground Pipelines Isolation

In the suggested work the technique of thermal calculations of pipelines is specified on the basis of the received new results.

For definition of optimum thickness of ground pipelines isolation the objective function is offered. The dependences of objective function from thickness of pipelines isolation are received.

Keywords: heat pipeline, heat insulation.

References:

1. Bogoslovsky V.N. Stroitel'naya teplofizika (Construction thermophysics). – Moscow: Vysshaya Shkola, 1982. – 415 p.
2. Zemenkov Yu.D., Moiseev B.V., Ilyukhin K.N., Nalobin N.V. Matematicheskaya model' temperaturnogo rezhima truboprovodov v vechnomerzlykh gruntakh (Mathematical model of temperature conditions of the pipelines in permafrost soils) // News of higher education institutions. Oil and gas. – 2012. – No. 4. – P. 96–99.
3. Ilyukhin K.N., Nalobin N.V. Povyshenie energoeffektivnosti i snizhenie teplopoter' v sistemakh teplosnabzheniya neftegazovykh ob'ektov na severe Zapadnoi Sibiri (Improvement of energy efficiency and reduction of heat losses in the heat supply systems of oil and gas facilities in the north of Western Siberia). – Saint Petersburg: Nedra LLC, 2007.
4. SNiP 41-03-2003 «Teplovaya izolyatsiya oborudovaniya i truboprovodov» («Heat insulation of equipment and pipelines»). – Moscow: Gosstroy, 2004. – 29 p.
5. SNiP 41-02-2003 «Teplovye seti» («Heating systems»). – Moscow, 2004. – 39 p.
6. Examination of thermal processes at pipeline transport facilities: Training manual / Under general editorship of Yu.D. Zemenkov. – Tyumen: Vector Book Publishing House, 2008. – 224 p.