УДК 622.691.4

Якимів Йосип Васильович
Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту та зберігання нафти і газу
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Люта Наталія Вікторівна
Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту та зберігання нафти і газу
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Бортняк Олена Михайлівна
Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту та зберігання нафти і газу
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Якимив Иосиф Васильевич
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры транспорта и хранения нефти и газа
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
Люта Наталия Викторовна
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры транспорта и хранения нефти и газа
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
Бортняк Елена Михайловна
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры транспорта и хранения нефти и газа
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Yakymiv Yosyp
Ph.D., associate professor, department of transportation and storing of oil and gas,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Lyuta Nataliya
Ph.D., associate professor, department of transportation and storing of oil and gas,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Bortnyak Olena
Ph.D., associate professor, department of transportation and storing of oil and gas,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ВПЛИВ ТЕПЛА ТЕРТЯ ПОТОКУ НА ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ НАФТ

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛА ТРЕНИЯ ПОТОКА НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПЕРЕКАЧКИ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ

THE EFFECT OF THE HEAT OF FRICTION OF THE FLOW ON THE TEMPERATURE CONDITIONS WHEN PUMPING HIGH-VISCOSITY OILS

Анотація. *Досліджено вплив тепла тертя потоку на зміну температурного режиму при перекачуванні високов'язких нафт магістральними трубопроводами.*

Ключові слова: *тепло тертя потоку, коефіцієнт теплопередачі, магістральний трубопровід, високов'язка нафта, втрати напору на тертя.*

Аннотация. *Исследовано влияние тепла трения потока на изменение температурного режима при перекачке высоковязких нефтей по магистральным трубопроводам.*

Ключевые слова: *тепло трения потока, коэффициент теплопередачи, магистральный трубопровод, высоковязкая нефть, потери напора на трение.*

Summary. *The article explores the effect of the heat of friction of the flow on the change of the temperature conditions of pumping high-viscosity oils through crude oil pipelines.*

Keywords: *heat of friction of the flow, full heat transfer coefficient, main pipeline, high-viscosity oil, loss of the head due to friction*

Частка високов'язких нафт в загальному обсязі видобування складає біля 10%. Економічним способом доставки таких нафт від місць видобування до нафтопереробних заводів є трубопровідний транспорт. Основним методом доставки нафт є перекачування їх трубопроводами з підігрівом. Суть способу полягає у нагріванні нафти на початку трубопроводу до певної температури, внаслідок чого зменшується її в'язкість, і наступного закачування її в трубопровід. При переміщенні нагрітої нафти трубопроводом її температура поступово зменшується, за рахунок чого в'язкість нафти збільшується. Швидкість зменшення температури залежить від теплообміну з оточуючим середовищем. Зниження температури дещо сповільнюється за рахунок тертя, що виникає при русі між шарами рідини та тертя рідини об стінки трубопроводу. Питання теплової взаємодії трубопроводу, яким перекачується нафта з підігрівом, з оточуючим середовищем та гідравлічних втрат висвітлені в роботах [1, с. 370, 2, с. 226, 3, с. 96–100]. За рахунок тепла тертя потоку зменшуються теплові та гідравлічні втрати, що недостатньо висвітлено в роботах. Тому виникає потреба у додатковому дослідженні впливу величини повного коефіцієнта теплопередачі на температурний та гідравлічний режим трубопроводів при врахуванні тепла тертя потоку.

Рівняння теплового балансу для ділянки трубопроводу довжиною dx із врахуванням тепла тертя потоку має вигляд [1, с. 385]

$$K\pi D\left(t-t_o\right)dx=-\rho Qcdt+\rho Qgidx\,, \qquad (1)$$

де $K\pi D\left(t-t_o\right)dx$ — тепло, яке передається в оточуюче середовище;

$\rho Qcdt$ — тепло, яке віддає нафта;

$\rho Qgidx$ — тепло тертя потоку;

K — повний коефіцієнт теплопередачі;

D — внутрішній діаметр трубопроводу;

πDdx — поверхня, через яку проходить теплопередача;

t — температура нафти на віддалі x від початку трубопроводу;

t_o — температура оточуючого середовища на глибині укладання трубопроводу;

ρ — густина нафти;

Q — об'ємна витрата;

c — масова питома теплоємність нафти;

g — прискорення вільного падіння;

i — гідравлічний нахил;

idx — втрати напору на тертя на ділянці довжиною dx.

Згрупувавши члени в (1) і ввівши позначення

$$\Theta=\frac{\rho Qg}{K\pi D}i=\frac{\rho Qg}{K\pi D}\Delta_r\beta\frac{Q^{2-m}\nu^m}{D^{5-m}}=\phi\nu^m\,, \qquad (2)$$

де Δ_r — поправка на неізотермічність по радіусу труби;

β і m — показники режиму руху рідини у формулі Лейбензона;

ν — кінематична в'язкість нафти;

$$\phi=\frac{\rho Q^{3-m}g}{K\pi D^{6-m}}\Delta_r\beta\,,$$

переписуємо вираз (1) із врахуванням (2) у вигляді

$$K\pi D\left(t-t_o-\Theta\right)dx=-\rho Qcdt\,. \qquad (3)$$

У виразі (3) величина Θ враховує тепло тертя потоку і має одиницю вимірювання температури.

Для зони гідравлічно гладких труб ($m=0{,}25$), в якій найчастіше рухаються високов'язкі нафти при перекачуванні з підігрівом, при незначній зміні в'язкості, тобто для трубопроводів невеликої протяжності величину Θ приймають при середньому значенні температури і вважають постійною величиною $\Theta=\Theta_{cp}$ = const. За такої умови після відокремлення змінних у виразі (3) і інтегрування одержано вираз

$$\frac{K\pi D}{\rho Qc}L=\ln\frac{t_н-t_o-\Theta}{t_к-t_o-\Theta}\,, \qquad (4)$$

де L — довжина трубопроводу;

$t_н$ — температура нафти на початку трубопроводу (температура підігріву);

$t_к$ — температура нафти в кінці трубопроводу.

Із виразу (4) можна визначити температуру в кінці трубопроводу з врахуванням тепла тертя потоку

$$t_к=t_o+\Theta+\left(t_н-t_o-\Theta\right)e^{-Шу}\,, \qquad (5)$$

де $Шу$ — параметр Шухова,

$$Шу=\frac{K\pi D}{\rho Qc}L\,. \qquad (6)$$

Відповідно температура в будь-якому перерізі на віддалі x від пункту підігріву буде дорівнювати

$$t=t_o+\Theta+\left(t_н-t_o-\Theta\right)e^{-\frac{K\pi Dx}{\rho Qc}}\,. \qquad (7)$$

Температура нафти в кінці трубопроводу без врахування тепла тертя потоку дорівнює

$$t'_к = t_о + \left(t_н - t_о\right)e^{-Шу}. \quad (8)$$

Кінцева температура нафти $t_к$ при врахуванні тепла тертя потоку завжди більша за температуру $t'_к$, що одержана за формулою (8).

Використовуючи формулу (4), можна визначити відстань між пунктами підігріву

$$l_{пп} = \frac{\rho Q c}{K \pi D} \ln \frac{t_н - t_о - \Theta}{t_к - t_о - \Theta}. \quad (9)$$

Необхідна кількість пунктів підігріву на трубопроводі дорівнює

$$n_{пп} = \frac{L}{l_{пп}}. \quad (10)$$

З температурним режимом трубопроводу безпосередньо пов'язані гідравлічні втрати в трубопроводі, визначення яких є напрямком наступних досліджень.

Запропонований алгоритм розрахунків може бути використаний проектними організаціями для прогнозування температурного режиму під час проектування трубопроводів для перекачування високов'язких і застигаючих нафт. Падіння температури нафти по довжині трубопроводу є менш інтенсивним за умов урахування тепла тертя потоку, тому під час експлуатації можуть бути вибрані енергоефективні способи регулювання режиму роботи такого нафтопроводу.

Література

1. Середюк М. Д. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / М. Д. Середюк, Й. В. Якимів, В. П. Лісафін. — Івано-Франківськ: Кременчук, 2001. — 517 с.

2. Якимів Й. В. Типові технологічні розрахунки трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / Й. В. Якимів. — Івано-Франківськ: Факел, 2006. — 366 с.

3. Середюк М. Д. Дослідження особливостей гідравлічної характеристики неізотермічного нафтопроводу / М. Д. Середюк, В. Т. Болонний // Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. — 2003. — № 1(6). — С. 96–100.