

Технічні науки

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 Йосиф 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 ТЕМПЕРАТУРНИЙ  
РЕЖИМ ПЕРЕКАЧКИ ВИСОКОВ'ЯЗКИХ 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]

$$K\pi D(t - t_o)dx = -\rho Qc dt + \rho Qg dx, \quad (1)$$

де  $K\pi D(t-t_o)dx$  - 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;

$\pi Ddx$  - поверхня, через яку проходить теплопередача;

$t$  - температура нафти на віддалі  $x$  від початку трубопроводу;

$t_o$  - температура оточуючого середовища на глибині укладання трубопроводу;

$\rho$  - 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

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

де  $\Delta_r$  - поправка на неізотермічність по радіусу труби;

$\beta$  і  $m$  - показники режиму руху рідини у формулі Лейбензона;

$v$  - кінематична в'язкість нафти;

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

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

$$K\pi D(t - t_o - \Theta)dx = -\rho Qc dt . \quad (3)$$

У виразі (3) величина  $\Theta$  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  $\Theta$  приймають при середньому значенні температури і вважають постійною величиною  $\Theta = \Theta_{cp} = \text{const}$ . За такої умови після відокремлення змінних у виразі (3) і інтегрування одержано вираз

$$\frac{K\pi D}{\rho Qc} L = \ln \frac{t_n - t_o - \Theta}{t_k - t_o - \Theta}, \quad (4)$$

де  $L$  - довжина трубопроводу;

$t_n$  - температура нафти на початку трубопроводу (температура підігріву);

$t_k$  - температура нафти в кінці трубопроводу.

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

$$t_k = t_o + \Theta + (t_n - t_o - \Theta)e^{-Шу}, \quad (5)$$

де  $Шу$  - параметр Шухова,

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

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

$$t = t_o + \Theta + (t_H - t_o - \Theta)e^{-\frac{K\pi D x}{\rho Q c}}. \quad (7)$$

Температура нафти в кінці трубопроводу без врахування тепла тертя потоку дорівнює

$$t'_k = t_o + (t_H - t_o)e^{-\frac{K\pi D y}{\rho Q c}}. \quad (8)$$

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

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

$$l_{nn} = \frac{\rho Q c}{K\pi D} \ln \frac{t_H - t_o - \Theta}{t_k - t_o - \Theta}. \quad (9)$$

Необхідна кількість пунктів підігріву на трубопроводі дорівнює

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

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 врахування тепла тертя потоку, тому під час експлуа-

тації 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.