

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПІДГРІВУ ДОЛИНСЬКОЇ НАФТИ ПЕРЕД ТРАНСПОРТУВАННЯМ ЇЇ НАФТОПРОВОДОМ ДОЛИНА-ДРОГОБИЧ

С.Р.Яновський

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166
e-mail: seredjuk@nung.edu.ua

Запропоновано метод оптимізації температури підігріву долинської нафти перед транспортуванням її нафтопроводом Долина-Дрогобич за критерієм мінімальних витрат електричної та теплової енергії.

Ключові слова: магістральний нафтопровід, в'язкопластична рідина, температура підігріву, оптимізація, тепла енергія, електрична енергія

Предложен метод оптимизации температуры подогрева долинской нефти перед ее транспортировкой по нефтепроводу Долина-Дрогобыч с использованием критерия минимальных затрат электрической и тепловой энергии.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, вязкопластичная жидкость, температура подогрева, оптимизация, тепловая энергия, электрическая энергия

The method of optimization of temperature of heating of Dolina oil before its transportation on the oil pipeline Dolina-Drogobuch with use of criteria of the minimum expenses electric and thermal energy has been offered.

Keywords: oil pipeline, viscoplastic fluid, the heat temperature, optimization, electric energy, thermal energy

На сьогодні одним із важливих завдань у сфері трубопровідного транспорту нафти і газу є розробка рекомендацій щодо впровадження енергоощадних технологій. Особливо це актуально у разі трубопровідного транспорту високов'язких швидкозастигаючих нафт, процес транспортування яких неможливий без попереднього покращання реологічних властивостей.

Найбільшого практичного застосування набув спосіб перекачування високов'язких та швидкозастигаючих нафт з попереднім підігрівом на насосно-теплових станціях. Реалізація зазначеної технології вимагає значних витрат теплової енергії. Важливе теоретичне та практичне значення має вирішення задачі оптимізації температури підігріву за критерієм мінімуму сумарних витрат електричної та теплової енергії на перекачування нафти.

Аналіз наявних публікацій засвідчив відсутність рішень зазначеної задачі стосовно високов'язких швидкозастигаючих нафт Долинських родовищ, які характеризуються явно вираженими в'язкопластичними властивостями. Тому розроблено методику оптимізації температури підігріву долинських нафт, яка враховує специфіку їх реологічних характеристик.

У роботі [1] авторами представлено методику прогнозування пропускної здатності та режимних параметрів роботи нафтопроводу у разі перекачування нафти, що характеризується в'язкопластичними властивостями. Методика та відповідне програмне забезпечення дають можливість визначити, чи можливо здійснити перекачування нафти з відповідними реологічними властивостями і певними умовами навколишнього середовища за заданої температури підігріву. Якщо процес перекачування можливий, то зазначена методика дає змогу визначити

робочу витрату нафти, загальні втрати тиску, які дорівнюють тиску насосів ГНПС Долина, а також питомі втрати тиску, які характеризують гідравлічну енерговитратність транспортування долинської нафти.

З метою оптимізації витрат теплової енергії на підігрів долинської нафти для умов кожного місяця року та різних значень температури підігріву за програмою PROGNOZ нами виконані багатоваріантні теплогідравлічні розрахунки нафтопроводу Долина-Дрогобич. Це дало можливість для кожного варіанта перекачування знайти пропускну здатність нафтопроводу Долина-Дрогобич, а також загальні втрати тиску, які повинні бути компенсовані тиском, створеним насосами ГНПС Долина.

Теплогідравлічні розрахунки нафтопроводу Долина-Дрогобич виконані для найгірших умов, тобто за максимального прогнозованого значення повного коефіцієнта теплопередачі від нафти в навколишнє середовище, що становить $K = 4,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$. У процесу розрахунків температура ґрунту на глибині укладання трубопроводу змінювалася від 3°C у зимовий період до 11°C у літній період року.

Для кожного випадку були визначені питомі втрати тиску на перекачування долинської нафти за формулою

$$\bar{P} = \frac{P_{\text{ГНПС}}}{Q}, \frac{\text{бар}}{(\text{м}^3 / \text{год})}, \quad (1)$$

де $P_{\text{ГНПС}}$ – тиск насосів ГНПС, необхідний для здійснення перекачування нафти з витратою Q .

Питомі втрати тиску характеризують гідравлічну енерговитратність трубопровідного транспорту долинської нафти нафтопроводом

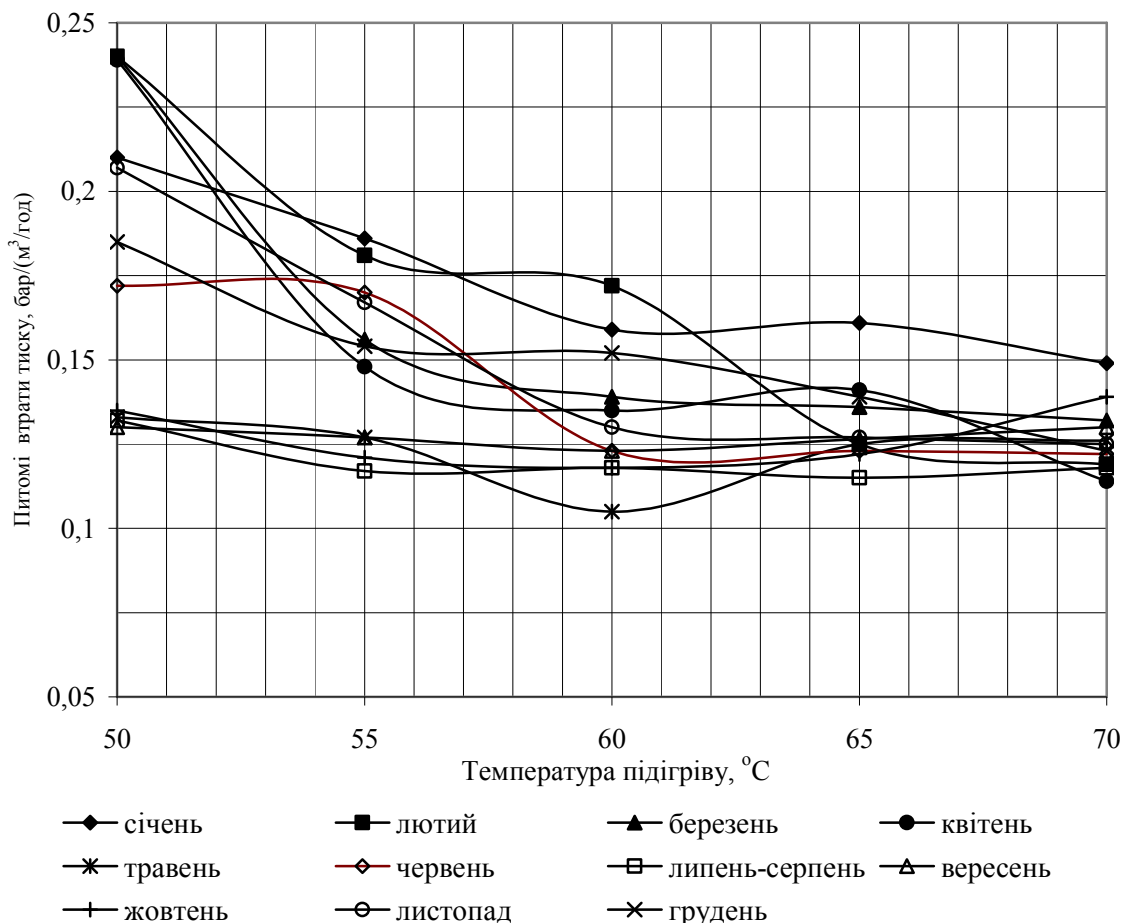


Рисунок 1 - Залежність питомих втрат тиску від температури підігріву у разі перекачування долиньської нафти нафтопроводом Долина-Дрогобич за умов 2007- 2008 рр.

Долина-Дрогобич за різних значень температури підігріву і умовах перекачування, що відповідають місяцям року (рис. 1).

Багатоваріантні розрахунки, виконані нами за програмою PROGNOZ, свідчать, що пропускна здатність нафтопроводу Долина-Дрогобич залежно від сезонних умов перекачування і температури підігріву долиньської нафти змінюється у вузькому діапазоні від 200 м³/год до 234 м³/год. При цьому загальні втрати тиску у трубопроводі змінюються у діапазоні від 25 бар до 32 бар. Оптимальними за критерієм мінімальних питомих втрат тиску під час транспортування долиньської нафти є такі значення температури підігріву: для умов січня 75°C; для умов лютого 70°C; для умов березня 70°C; для умов квітня 70°C; для умов травня 60°C; для умов червня 70°C; для умов липня-серпня 65°C; для умов вересня 60°C; для умов жовтня 60 °C; для умов листопада 70°C; для умов грудня 70°C.

Як свідчать розрахунки, для умов січня зниження температури підігріву до 65°C за значної вологості ґрунтів може призвести до того, що втрати тиску перевищать тиск, створений насосами ГНПС Долина. Для інших місяців мінімальні значення температури підігріву з точ-

ки зору забезпечення нормального режиму експлуатації нафтопроводу Долина-Дрогобич за значної вологості ґрунтів становлять: для умов лютого 65°C; для умов березня 60°C; для умов квітня 55°C; для умов червня 55°C; для умов листопада 60°C; для умов грудня 65°C.

Зазначена методика є основною частиною більш загальної методології оптимізації температури підігріву долиньської нафти перед її транспортуванням нафтопроводом Долина-Дрогобич, зміст якої викладений нижче.

Потужність, спожита насосами ГНПС Долина, може бути виражена через режимні параметри роботи станції таким чином:

$$N_{\text{гнпс}} = \frac{QH_{\text{гнпс}}\rho_{\text{під}}g}{\eta_{\text{гнпс}}}, \quad (2)$$

де: $H_{\text{гнпс}}$ – напір, створений насосами при робочій витраті нафти;

$\rho_{\text{під}}$ – густина нафти за температури підігріву;

g – прискорення сили тяжіння;

$\eta_{\text{гнпс}}$ – еквівалентний ККД послідовно працюючих на ГНПС підпірного і магістрального насосних агрегатів.

Якщо відома математична модель напірної характеристики послідовно працюючих насосів, то вираз (2) можна записати у вигляді

$$N_{гнпс} = \frac{Q(A_{гнпс} - B_{гнпс}Q^2)\rho_{нід}g}{\eta_{гнпс}}, \quad (3)$$

де $A_{гнпс}, B_{гнпс}$ – коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики насосів ГНПС.

Уводимо поняття питомих витрат енергії на перекачування нафти як відношення потужності, спожитої насосами ГНПС, до масової витрати нафти у нафтопроводі

$$\bar{W}_e = \frac{N_{гнпс}}{M}, \text{ Дж/кг}, \quad (4)$$

де M – масова витрата нафти у нафтопроводі,
 $M = Q \cdot \rho_{нід}$, кг/с. (5)

Формула (4) з врахуванням (3) і (5) набуде вигляду

$$\bar{W}_e = \frac{(A_{гнпс} - B_{гнпс}Q^2)g}{\eta_{гнпс}}, \text{ Дж/кг}. \quad (6)$$

За відсутності аналітичного виразу напірної характеристики насосів ГНПС питомі витрати енергії на перекачування нафти можуть бути визначені за формулою

$$\bar{W}_e = \frac{P_{гнпс}}{\rho_{нід}\eta_{гнпс}}, \text{ Дж/кг}. \quad (7)$$

Вирази (6) або (7) визначають питомі гідравлічні витрати енергії при перекачуванні нафти. Ці витрати компенсуються енергією, що надходить від електродвигунів проводу насосів. Вартість цієї енергії визначається чинними тарифами на електроенергію.

Формули (6) і (7) свідчать, що для визначення питомих гідравлічних витрат енергії на перекачування нафти крім математичних моделей напірних характеристик необхідно знати ККД насосів та приводних електродвигунів. На ГНПС Долина використовуються магістральні насоси типу НПС 200/700 зі змінними роторами, графічні характеристики цих насосів відсутні. Це визначило необхідність проведення на ГНПС Долина у лютому 2009 року промислового експерименту з метою одержання вихідних даних для розрахунку енергетичних показників роботи насосних агрегатів.

Протягом циклу перекачування долинської нафти 25-27 лютого 2009 року кожні дві години фіксувалися такі показники:

- витрата нафти Q ;
- тиск нафти на вході підпірного насоса $P_{вх_n}$;
- тиск нафти на виході підпірного насоса $P_{вх_n}$;
- тиск нафти на виході магістрального насоса $P_{вх_m}$;
- температура підігріву нафти $t_{нід}$;
- температура нафти у резервуарах $t_{рез}$;
- густина нафти при 20°C ρ_{20} ;

– потужність, спожита підпірним насосним агрегатом $N_{нід}$;

– потужність, спожита магістральним насосним агрегатом $N_{маг}$.

Фактичне значення ККД магістрального насосного агрегату $\eta_{маг}$ визначалось із формули

$$N_{маг} = \frac{Q(P_{вх_m} - P_{вх_n})}{\eta_{маг}}. \quad (8)$$

Фактичне значення ККД підпірного насосного агрегату $\eta_{нід}$ знаходилось із формули

$$N_{нід} = \frac{Q(P_{вх_n} - P_{вх_n})}{\eta_{нід}}. \quad (9)$$

Еквівалентний ККД послідовно працюючих підпірного і магістрального насосних агрегатів обчислювався за формулою

$$\eta_{гнпс} = \frac{\eta_{нід}(P_{вх_n} - P_{вх_n}) + \eta_{маг}(P_{вх_m} - P_{вх_n})}{(P_{вх_m} - P_{вх_n})}. \quad (10)$$

Усереднення результатів розрахунків протягом циклу перекачування долинської нафти дав змогу визначити еквівалентний ККД послідовно працюючих підпірного № 4 і магістрального № 3 насосних агрегатів

$$\eta_{гнпс} = 0,43.$$

Ці значення ККД насосних агрегатів ГНПС Долина використовувались нами при проведенні подальших оптимізаційних розрахунків.

Питома вартість енергії на перекачування долинської нафти становить

$$\bar{E}_e = \sigma_e \bar{W}_e, \text{ грн./кг}, \quad (11)$$

де σ_e – чинний тариф на електроенергію для промислових споживачів, грн./Дж.

Як зазначалось вище, для забезпечення процесу перекачування нафтопроводом високов'язка швидкозастигаюча долинська нафта повинна бути підігріта до певної температури $t_{нід}$, величина якої залежить від умов навколишнього середовища.

Необхідна теплова потужність пункту підігріву нафти становить

$$N_t = c_{зв} M (t_{нід} - t_{рез}), \quad (12)$$

де: $c_{зв}$ – зведена теплоємність нафти, яка враховує приховану теплоту кристалізації парафіну, що міститься у нафті;

$t_{рез}$ – температура нафти у резервуарах (до підігріву).

Вводимо поняття питомих витрат енергії на підігрів нафти як відношення необхідної потужності пункту підігріву до масової витрати нафти у нафтопроводі

$$\bar{W}_t = \frac{N_t}{M}, \text{ Дж/кг}. \quad (13)$$

Формула (13) з врахуванням (12) приймає вигляд

$$\bar{W}_t = c_{зв}(t_{нід} - t_{рез}), \text{ Дж/кг}. \quad (14)$$

Питома вартість теплової енергії на підігрів долинської нафти визначається чинними тарифами на послуги тепlopостачання.

Питома вартість енергії на підігрів долинської нафти становить

$$\bar{E}_t = \sigma_t \bar{W}_t, \text{ грн./кг} \quad (15)$$

де σ_e – чинний тариф на послуги тепlopостачання, грн./Дж.

Загальна питома вартість енергії на транспортування долинської нафти складаються із питомої вартості енергії на підігрів нафти та питомої вартості енергії на її перекачування. Таким чином, функція, яка підлягає мінімізації, має такий вигляд:

$$\bar{E} = \sigma_t \bar{W}_t + \sigma_e \bar{W}_e, \text{ грн./кг.} \quad (16)$$

Температуру підігріву, якій відповідає мінімальне значення функції (16), будемо вважати оптимальною за умови, що вона забезпечує нормальний теплогідравлічний режим роботи нафтопроводу.

Для проведення оптимізаційних розрахунків необхідно тарифи на електроенергію та теплову енергію перевести із практичних одиниць у систему одиниць SI. З 01.03.2009 р. новий тариф на електроенергію для промислових споживачів другого класу напруги (без ПДВ) становить

$$\sigma_e = 58,46 \text{ коп/кВт-год} = 16,24 \cdot 10^{-8} \text{ грн./Дж.}$$

У 2009 році НГВУ «Долинанафтогаз» поставляє теплову енергію Дрогобицькому НУ за тарифом (без ПДВ)

$$\sigma_t = 204,18 \text{ грн./Гкал} = 48,73 \cdot 10^{-9} \text{ грн./Дж.}$$

Знайдемо чинне на сьогодні співвідношення між вартістю одиниці теплової та електричної енергії

$$\alpha = \frac{\sigma_t}{\sigma_e}, \quad (17)$$

$$\alpha = \frac{48,73 \cdot 10^{-9}}{16,24 \cdot 10^{-8}} = 0,3.$$

З врахуванням (17) функція, яка підлягає мінімізації, приймає вигляд

$$\bar{E}_{зв} = \alpha \bar{W}_t + \bar{W}_e, \text{ Дж/кг} \quad (18)$$

або при переході до практичних одиниць

$$\bar{E}_{зв} = 10^{-3} (\alpha \bar{W}_t + \bar{W}_e), \text{ МДж/т.} \quad (19)$$

Наведена вище методика реалізована нами у програмі ОРТ, яка дає змогу для конкретних умов перекачування долинської нафти обчислити значення функції мінімізації (19).

Слід зазначити, що при визначенні оптимальної температури підігріву долинської нафти для конкретного місяця перекачування до уваги бралися лише ті значення функції, що відповідають температурам підігріву, за яких забезпечується нормальний теплогідравлічний режим роботи нафтопроводу. Так, для січня розглядалися тільки значення функції, що відповідають температурам підігріву 75°C і 70°C, оскільки за нижчих температур загальні втрати тиску перевищують тиск, створений насосами

ГНПС Долина. Із цих міркувань оптимальною для січня є температура підігріву 70°C, оскільки значення функції $\bar{E}_{зв}$ за цієї температури менше, ніж за температури 75°C.

Аналіз результатів оптимізаційних розрахунків, виконаних для умов перекачування долинської нафти нафтопроводом Долина-Дрогобич протягом кожного місяця року, дає підстави зробити такі висновки:

– якщо не враховувати технологічні аспекти і керуватися тільки економічними показниками, то за умов чинного на сьогодні співвідношення вартості одиниці теплової та електричної енергії для всіх місяців перекачування найбільш економічною буде найменша із розглянутих температура підігріву долинської нафти, а саме температура 50°C;

– дана ситуація зберігається як за зміни співвідношення вартості одиниці теплової та електричної енергії у три рази (за зміни коефіцієнта α від значення 0,3 до значення 0,1), так і за зміни температури нафти у резервуарах від 25°C до 40°C;

– для періоду року з ускладненими кліматичними умовами (місяці січень, лютий, березень, квітень, листопад, грудень) оптимальне значення температури підігріву визначається не економічними, а технологічними аспектами, а саме забезпеченням нормального процесу перекачування високов'язкої швидкозастигаючої долинської нафти насосами, встановленими на ГНПС Долина, з врахуванням чинних технологічних обмежень;

– з урахуванням технологічних та економічних критеріїв, зазначених вище, оптимальними для транспортування долинської нафти нафтопроводом Долина-Дрогобич є такі значення температури підігріву (з уведенням технологічного резерву):

– для умов січня 75°C; для умов лютого 70°C; для умов березня 65°C; для умов квітня 60°C; для умов травня 60°C; для умов червня 60°C; для умов липня-серпня 55°C; для умов вересня 55°C; для умов жовтня 60°C; для умов листопада 65°C; для умов грудня 70°C.

Література

1 Яновський С.Р. Метод прогнозування режимних параметрів роботи нафтопроводу при перекачуванні в'язкопластичної нафти / С.Р. Яновський, М.Д. Середюк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – № 1(30). – С. 74-78.

Стаття постуила в редакційну колегію
28.10.09

Рекомендована до друку професором
Середюк М.Д.