

Технічні науки

УДК 622.692.4

**Якимів Йосип Васильович**

*кандидат технічних наук, доцент,*

*доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

**Якимив Иосиф Васильевич**

*кандидат технических наук, доцент,*

*доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ*

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

**Yakymiv Yosyp**

*PhD, Associate Professor,*

*Associate Professor of the Department Oil and Gas Pipelines and Storage Facilities*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

**Бортняк Олена Михайлівна**

*кандидат технічних наук, доцент,*

*доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

**Бортняк Елена Михайловна**

*кандидат технических наук, доцент,*

*доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ*

*Ивано-Франковский национальный технический университета нефти и газа*

**Bortnyak Olena**

*PhD, Associate Professor,*

*Associate Professor of the Department Oil and Gas Pipelines and Storage Facilities*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

**Люта Наталія Вікторівна**

*кандидат технічних наук, доцент,*

*доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

**Люта Наталия Викторовна**

*кандидат технических наук, доцент,*

*доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ*

*Ивано-Франковский национальный технический университета нефти и газа*

**Liuta Natalia**

*PhD, Associate Professor,*

*Associate Professor of the Department Oil and Gas Pipelines and Storage Facilities*

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ МАГІСТРАЛЬНИХ  
ТРУБОПРОВІДІВ ЗА ПЕРІОДИЧНИХ ПІДКАЧУВАНЬ ЧАСТИНИ  
НАФТИ**

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ТРУБОПРОВОДОВ С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПОДКАЧКОЙ ЧАСТИ  
НЕФТИ**

**ENERGY EFFICIENCY OF MAIN LINES WITH PERIODIC PUMPING  
THE PARTS OF OIL**

***Анотація.** Розроблені методика та алгоритм визначення показників енергоефективності експлуатації нафтотранспортних магістралей за періодичних підкачувань частини нафтового потоку.*

***Ключові слова:** періодичні підкачування, магістральний нафтопровід, лімітуючий перегін, пропускна здатність, витрати потужності, енергоефективність.*

**Аннотация.** Представлены методика и алгоритм определения показателей энергоэффективности эксплуатации нефтетранспортных магистралей с периодической подкачкой части нефтяного потока.

**Ключевые слова:** периодические подкачки, магистральный нефтепровод, лимитирующий перегон, пропускная способность, расход мощности, энергоэффективность.

**Summary.** The method and calculation algorithm for determining the energy efficiency of oil pipelines operation with periodic pumping of part of the oil flow are developed.

**Key words:** periodic pumping, main oil pipeline, limiting stage, capacity, power consumption, energy efficiency.

Зустрічаються випадки, коли поблизу трас діючих магістральних нафтопроводів експлуатуються потужні нафтові родовища. Найзручнішим способом транспортування нафт, що видобуваються на таких родовищах є їх підкачування в магістральний трубопровід. Для цього нафта місцевими трубопроводами подається в резервуари найближчої проміжної нафтоперекачувальної станції, а далі періодично підкачується в магістральний нафтопровід. За рахунок періодичного підкачування частини нафти на одній станції змінюється режим роботи всіх нафтоперекачувальних станцій (НПС) на трубопроводі. Можуть виникати випадки надмірного підвищення тиску на виході деяких станцій і зниження або підвищення тиску на вході в проміжні нафтоперекачувальні станції. Це впливає на споживання потужності нафтоперекачувальними агрегатами. Окремі аспекти впливу періодичних підкачувань частини нафти на режимні параметри роботи магістральних нафтопроводів розглядаються в [1-5]. Існуючі методики не враховують фактичне розміщення нафтоперекачувальних станцій по трасі нафтопроводу і

необхідність регулювання режиму перекачування у разі досягнення тиску на виході станцій більше допустимої величини або зниження тиску на вході в проміжні станції менше допустимого значення. Дослідження впливу періодичних підкачувань частини нафти на пропускну здатність та енергоефективність роботи трубопроводів, що знаходяться в експлуатації, відсутні.

Найважливішими показниками, які характеризують режим роботи магістрального нафтопроводу, є його продуктивність, тиски на виході станцій і на їх вході, витрати потужності на перекачування нафти. Енергоефективність роботи магістральних нафтопроводів визначається споживанням електроенергії на перекачування нафти. Витрати потужності на перекачування нафти залежать від продуктивності, з якою здійснюється перекачування.

У випадку роботи магістральних нафтопроводів з періодичними підкачуваннями частини нафти слід розглядати ділянки трубопроводу до і після пункту підкачування, які взаємозв'язані. В основу розрахунків з визначення продуктивності нафтопроводу на окремих ділянках закладені рівняння балансу напорів для відповідних ділянок. Продуктивність нафтопроводу залежить від кількості нафтоперекачувальних агрегатів, які включаються в роботу на станціях на відповідних ділянках трубопроводу.

Розглянемо магістральний нафтопровід, на якому експлуатується  $n$  нафтоперекачувальних станцій, з них на ділянці до пункту підкачування працює  $s$  станцій. Для ділянок трубопроводу до пункту періодичного підкачування частини нафти рівняння балансу напорів для кожного перегону має вигляд

$$A_i - B_i Q^2 = 1,02 \frac{8}{\pi^2 g} \lambda_i \frac{l_i}{D_i^5} Q^2 + \Delta z_i + h_{n_i},$$

де  $A_i$ ,  $B_i$  - коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики нафтоперекачувальної станції, що знаходиться на початку  $i$ -го перегону

ділянки нафтопроводу до пункту підкачування;  $Q$  - витрата рідини на ділянці нафтопроводу до пункту підкачування;  $\lambda_i$  - коефіцієнт гідравлічного опору для  $i$ -го перегону між станціями;  $l_i$  - довжина трубопроводу на  $i$ -му перегоні;  $D_i$  - внутрішній діаметр трубопроводу на  $i$ -му перегоні;  $\Delta z_i$  - різниця геодезичних позначок кінця і початку  $i$ -го перегону;  $h_{n_i}$  - напір у кінці  $i$ -го перегону, що передається на наступну станцію.

Рівняння балансу напорів для всіх перегонів, що знаходяться після пункту підкачування частини нафти, має вигляд

$$A'_i - B'_i(Q + Q_n)^2 = 1,02 \frac{8}{\pi^2 g} \lambda_i \frac{l_i}{D_i^5} (Q + Q_n)^2 + \Delta z_i + h_{n_i},$$

де  $A'_i$ ,  $B'_i$  - коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики нафтоперекачувальної станції, що знаходиться на початку  $i$ -го перегону ділянки нафтопроводу після пункту підкачування;  $Q_n$  - витрата, з якою здійснюється підкачування частини рідини.

Експлуатація магістрального нафтопроводу енергоефективна в тому випадку, коли у разі перекачування нафти, забезпечується максимально можлива продуктивність, яку називають пропускною здатністю, за певної схеми включення насосів на станціях і певної температури нафти, з якою здійснюється її транспортування. Метод визначення пропускної здатності нафтопроводів без періодичних підкачувань розглядаються в роботах [3, 4, 5]. Пропускною здатністю магістрального нафтопроводу є та найбільша продуктивність, за якої забезпечується безкавітаційна робота насосів на вході у всі проміжні нафтоперекачувальні станції трубопроводу, тобто підпір на вході в станції перевищує мінімально допустимі значення.

Визначення пропускної здатності магістральних нафтопроводів з підкачуванням частини нафти може бути реалізоване методом ітерацій по витраті. Алгоритм передбачає наявність блоку розрахунку лінійної

частини, параметрів роботи НПС і розв'язку рівнянь, що регламентують спільну роботу нафтоперекачувальних станцій і прилеглих ділянок нафтопроводу. Задаються величиною витрати рідини підкачування  $Q_n$ , першим наближенням витрати рідини до пункту підкачування  $Q$ , і, враховуючи, що після пункту підкачування витрата нафти дорівнює  $Q + Q_n$ , визначають величину загальних втрат енергії на кожному перегоні, напори на виході і підпори на вході кожної НПС. Перевіряють перевищення підпору на вході в проміжні станції над мінімально допустимою величиною. Розрахунки виконують для всіх перегонів між станціями, враховуючи ділянки нафтопроводу до і після пунктів підкачування. Якщо на всіх перегонах перевищення підпорів над мінімально допустимими значеннями більші нуля, то збільшують продуктивність на величину  $\Delta Q$  і розрахунки повторюють.

Розрахунки виконуються шляхом поступового нарощування продуктивності  $Q$ . Будь-який перегін між станціями, для якого за певного значення продуктивності  $Q$  отримано перевищення підпору над мінімально допустимим значенням меншим нуля, тобто насоси на станції будуть працювати в кавітаційному режимі, обмежує пропускну здатність всього нафтопроводу. Пропускною здатністю нафтопроводу буде продуктивність трохи менша від тієї, за якої перевищення підпору над мінімально допустимим значенням менше нуля, тобто недостатній підпір для безкавітаційної роботи основних насосів на станціях.

Після визначення пропускну здатності, враховуючи, що на ділянках до пункту підкачування продуктивність трубопроводу  $Q$ , а після пункту підкачування  $Q + Q_n$ , обчислюється потужність, яку споживають насоси на кожній станції і затрати потужності на перекачування нафти в системі трубопроводу.

Знаходяться питомі затрати потужності на перекачування нафти

$$\Delta N = \frac{N}{\rho \cdot 10^{-3} Q_{\text{год}} L},$$

де  $L$  - загальна довжина трубопроводу, км.

Якщо напір на виході станції більший від максимально допустимої величини, то визначається величина дросельованого напору на цій станції із умови міцності труб і відповідні непродуктивні витрати потужності. Згідно з режимом перекачування на кінцевий пункт трубопроводу нафта повинна надходити з певним залишковим напором. Якщо величина цього напору перевищує прийняте значення, то на останній станції трубопроводу повинно здійснюватись регулювання із умови технології перекачування. Обчислюються непродуктивні витрати потужності, зв'язані з дроселюванням потоку на останньому перегоні.

Запропонований алгоритм розрахунків може використовуватись підприємствами, які здійснюють перекачування нафти, для прогнозування продуктивності магістральних нафтопроводів за будь-якої величини підкачування частини нафти. За результатами розрахунків можуть бути розроблені рекомендації щодо реалізації енергоефективних режимів експлуатації нафтотранспортних систем з періодичним підкачуванням частини нафтового потоку

### Література

1. Нечваль А. М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001. 168 с.
2. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов / А. А. Коршак, А. М. Нечваль. Ростов-на-Дону, 2016. 504 с.
3. Якимів Й. В., Бортняк О. М. Проектування та експлуатація нафтопроводів. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. 171 с.
4. Режими роботи магістральних нафтопроводів з періодичними скиданнями і підкачуваннями / Й. В. Якимів, О. М. Бортняк.

Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2017. № 3(25), том 1. С. 188-190.

5. Середюк М. Д., Люта Н.В. Обґрунтування вибору математичних моделей для коефіцієнта гідравлічного опору в нафтопроводах / М. Д. Середюк, Н.В. Люта // Нафтова і газова промисловість. 2000. № 3 (8). С. 103–108.