

Якимів Йосип Васильович

*Кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспорту і 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*

Yakymiv Yosyp

*Ph.D., associate professor, department of transportation and storing of oil and gas,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

Бортняк Олена Михайлівна

*Кандидат технічних наук,
доцент кафедри транспорту і зберігання нафти і газу
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Бортняк Елена Михайловна

*Кандидат технических наук,
доцент кафедры транспорта и хранения нефти и газа
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

Bortnyak Olena

*Ph.D., associate professor, department of transportation and storing of oil and gas,
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

РЕЖИМИ РОБОТИ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВІДІВ З ПЕРІОДИЧНИМИ СКІДАННЯМИ І ПІДКАЧУВАННЯМИ

РЕЖИМЫ РАБОТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ СБРОСАМИ И ПОДКАЧКАМИ

OPERATING MODES OF THE MAIN OIL PIPELINES WITH PERIODICAL DISCHARGE AND PUMPING

Анотація. Досліджено вплив величини скидання (підкачування) нафти на витрату рідини на початковій ділянці трубопроводу та величину підпора на вході в станції, де здійснюється скидання (підкачування). Розроблено алгоритм і програмне забезпечення для визначення витрати рідини на початковій ділянці залежно від витрати скидання (підкачування).

Ключові слова: витрата рідини, періодичне скидання, періодичне підкачування, магістральний нафтопровід.

Аннотация. Исследовано влияние величины сброса (подкачки) нефти на расход жидкости на начальном участке трубопровода и величину подпора на входе в станцию, где осуществляется сброс (подкачка). Разработан алгоритм и программное обеспечение для определения расхода жидкости на начальном участке в зависимости от расхода сброса (подкачки).

Ключевые слова: расход жидкости, периодический сброс, периодическая подкачка, магистральный нефтепровод.

Summary. The impact of oil discharge (pumping) volume on the flow rate in the initial section of the pipeline and the head value at the station inlet, where the discharge (pumping) is done, was studied. The algorithm and software to determine the flow rate at the initial section depending on the discharge (pumping) volume were developed.

Key words: fluid flow rate, periodical discharge, periodical pumping, main oil pipeline.

З наявності поблизу траси магістральних нафтопроводів нафтопереробних заводів, наливних пунктів у залізничний або водний транспорт може здійснюватись періодичне скидання частини нафти для постачання їх сировиною. Якщо біля траси магістрального нафтопроводу є потужні родовища нафти, то періодично може здійснюватись її підкачування у магістральний трубопровід. Такі ж ситуації можливі на магістральних нафтопродуктопроводах, коли скидається частина нафтопродуктів на ближні нафтобази або підкачуються нафтопродукти, що виробляються на нафтопереробних заводах.

Періодичні скидання і підкачування можуть порушувати нормальний режим перекачування, що супроводжується зростанням тиску на виході одних нафтоперекачувальних станцій вище максимально допустимої величини із умови міцності трубопроводу і зниженням тиску на вході інших станцій нижче мінімально допустимої величини із умови безкавітаційної роботи насосів.

Питання роботи нафтопроводів за періодичних скидань і підкачувань розглядаються в [1, с. 79–82, 2, с. 133–137, 3, с. 49–54]. Однак, у цих роботах втрати напору на тертя виражаються формулою Л. С. Лейбензона, яка не охоплює перекачування нафти і нафтопродуктів при турбулентному режимі у зоні змішаного тертя, а в цій зоні відбувається перекачування більшості світлих нафтопродуктів і деяких малов'язких нафт. Тому пропонується більш загальний випадок представлення втрат напору на тертя формулою Дарсі-Вейсбаха.

В такому випадку рівняння балансу напорів для всього магістрального нафтопроводу має вигляд

$$A - BQ^2 + A_1 - B_1(Q - Q_c)^2 = K\lambda \frac{l}{D^5} Q^2 + K\lambda_1 \frac{L-l}{D^5} (Q - Q_c)^2 + \Delta z + h_k + h_{op}, \quad (1)$$

де A, B — коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики всіх насосів, що працюють на станціях до пункту скидання,

$$A = a_n + cra; \quad B = b_n + crb,$$

a_n, b_n — коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики підпірного насоса вигляду $h_n = a_n - b_n Q^2$, встановленого на головній нафтоперекачувальній станції;

c — кількість станцій, що працює на ділянці нафтопроводу до пункту скидання;

r — кількість однотипних основних насосів, що працюють послідовно на станції;

a, b — коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики одного насоса вигляду $h = a - bQ^2$, що працюють на ділянці до пункту скидання;

A_1, B_1 — коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики всіх насосів, що працюють на станціях після пункту скидання,

$$A_1 = (n - c)ra_1; \quad B_1 = (n - c)rb_1,$$

n — загальна кількість нафтоперекачувальних станцій на трубопроводі;

a_1, b_1 — коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики одного насоса вигляду $h = a_1 - b_1 Q^2$, що працюють на ділянці після пункту скидання;

Q — витрата рідини на ділянці трубопроводу до пункту скидання;

Q_c — величина витрати скидання;

$Q - Q_c$ — витрата рідини на ділянці нафтопроводу після пункту скидання;

K — сталий комплекс величин, $K = 1,02 \frac{8}{\pi^2 g}$;

1,02 — коефіцієнт, що враховує 2% на втрати напору в місцевих опорах від втрат напору на тертя;

g — прискорення вільного падіння;

λ, λ_1 — коефіцієнти гідравлічного опору для ділянок нафтопроводу до і після пункту скидання, що визначаються за відомими формулами гідродинаміки залежно від зони гідравлічного тертя;

L — загальна довжина нафтопроводу;

l — довжина ділянки нафтопроводу до пункту скидання;

D — внутрішній діаметр нафтопроводу;

Δz — різниця геодезичних позначок кінця і початку нафтопроводу;

h_k — залишковий напір в кінці нафтопроводу;

h_{op} — величина напору, який повинен дроселюватись в системі трубопроводу, якщо тиски на виході станцій перевищують максимально допустиме значення із умови міцності трубопроводу.

Ввівши коефіцієнт ϕ , що враховує відношення витрати рідини після пункту скидання $Q - Q_c$ до витрати рідини до пункту скидання Q , отримуємо, що

$$Q - Q_c = \phi Q. \quad (2)$$

Із врахуванням (2) рівняння (1) приймає вигляд

$$A - BQ^2 + A_1 - B_1(\phi Q)^2 = K\lambda \frac{l}{D^5} Q^2 + K\lambda_1 \frac{L-l}{D^5} (\phi Q)^2 + \Delta z + h_k + h_{op}. \quad (3)$$

Із рівняння (3) витрата рідини на ділянці нафтопроводу до пункту скидання дорівнює

$$Q = \sqrt{\frac{A + A_1 - \Delta z - h_k - h_{op}}{B + K\lambda \frac{l}{D^5} + \left(B_1 + K\lambda_1 \frac{L-l}{D^5} \right) \phi^2}}. \quad (4)$$

Величини $\lambda, \lambda_1, h_{op}$ залежать від витрати рідини Q , тому рівняння (4) розв'язується методом послідовних наближень.

Оскільки у випадку скидання значення коефіцієнта $\phi < 1$ і тим менше, чим більша величина скидання, то витрата рідини на ділянці до пункту скидання буде збільшуватись. Через збільшення витрати Q

збільшуються втрати напору в трубопроводі, що впливає на величину підпору на вході в проміжні нафтоперекачувальні станції.

Для аналізу зміни підпору на вході в станцію, перед якою здійснюється скидання частини рідини, використаємо рівняння балансу напорів для ділянки трубопроводу до пункту скидання

$$A - BQ^2 = K\lambda \frac{l}{D^5} Q^2 + \Delta z_c + h_c + h_{\text{оп}}, \quad (5)$$

де Δz_c — різниця геодезичних позначок проміжної станції, на якій здійснюється скидання, і головної нафтоперекачувальної станції;

h_c — підпір на вході в станцію, на якій здійснюється скидання.

Із рівняння (5) підпір на вході в станцію дорівнює

$$h_c = A - \Delta z_c - \left(B + K\lambda \frac{l}{D^5} \right) Q^2 - h_{\text{оп}}, \quad (6)$$

що свідчить про зменшення підпору на вході в станцію.

За певного значення витрати Q підпір на вході в станцію може зменшитись до величини $\Delta h_{\text{мін}}$, за якої підпору буде недостатньо для безкавітаційної роботи насосів на станції, що недопустимо. Трубопровід може нормально працювати лише з продуктивностями, які за певної витрати скидання Q_c є меншими за витрату Q . Для цього повинно здійснюватись регулювання режиму роботи нафтопроводу. Для вибору способу регулювання і визначення витрати рідини, при якій буде забезпечуватись безкавітаційний режим роботи нафтопроводу, поступово зменшують витрату Q , досягаючи із заданою точністю величини $h_c > \Delta h_{\text{мін}}$.

За періодичних підкачувань коефіцієнт $\phi > 1$ і тим більший, чим більша величина підкачування. Тому,

витрата рідини на ділянках до пункту підкачування буде зменшуватись, а підпір на вході в станцію, перед якою здійснюється підкачування, збільшуватись, що може призвести до порушення міцності трубопроводу. Сумування підпору з напором, що створює станція, може призвести до порушення міцності трубопроводу.

Величина підпору перед пунктом підкачування h_n розраховується за виразом

$$h_n = A - \Delta z_n - \left(B + K\lambda \frac{l}{D^5} \right) Q^2 - h_{\text{оп}}'', \quad (7)$$

де Δz_n — різниця геодезичних позначок станції, перед якою здійснюється підкачування, і початку трубопроводу;

$h_{\text{оп}}''$ — напір, який необхідно дроселювати із умови міцності на ділянці трубопроводу від його початку до пункту підкачування.

Для забезпечення міцності трубопроводу після пункту підкачування виконується перевірка

$$h_n + A' - B'(\phi Q)^2 < \frac{P_{\text{дон}}}{\rho g}, \quad (8)$$

де A' , B' — коефіцієнти математичної моделі проміжної нафтоперекачувальної станції, перед якою здійснюється підкачування нафти,

$$A' = ra_1; \quad B' = rb_1;$$

$P_{\text{дон}}$ — допустимий тиск із умови міцності трубопроводу.

Для запобігання перевищення тиску на виході станцій над максимально допустимою величиною і зниження підпору на вході в станції нижче мінімально допустимого значення із умови безкавітаційної роботи насосів повинно проводитись регулювання режиму перекачування.

Література

1. Нечваль А. М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов / Нечваль А. М. — Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001. — 168 с.
2. Коршак А. А. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов / А. А. Коршак, А. М. Нечваль; под ред. А. А. Коршака. — СПб.: Недра, 2008. — 488 с.
3. Якимів Й. В. Проектування та експлуатація нафтопроводів / Й. В. Якимів, О. М. Бортняк. — Івано-Франківськ: ІФН-ТУНГ, 2015. — 171 с.