УДК 622.692.4
DOI: 10.31471/1993-9868-2019-1(31)-65-71

ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВОДІВ ІЗ ЗАДАНИМ РОЗМІЩЕННЯМ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЙ ЗА ПЕРІОДИЧНИХ СКИДАНЬ ЧАСТИНИ НАФТИ

Й. В. Якимів*, О. М. Бортняк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727139,
e-mail: gnps@nung.edu.ua

Транспортування нафти магістральними трубопроводами досить часто передбачає необхідність реалізації постійного або періодичного скидання частини потоку з метою подальшого відвантаження сировини на нафтопереробні заводи або наливні пункти. Застосування такої технології призводить до зміни експлуатаційних режимів нафтоперекачувальних станцій і нафтотранспортної системи загалом. У разі виникнення аварійної ситуації аналогом скидання є витік нафти з трубопроводу у випадку порушення його цілісності. Скидання частини потоку супроводжується зміною витрати рідини до і після місця скидання, що неодмінно призводить до перерозподілу тисків на вході і виході проміжних нафтоперекачувальних станцій. Збільшення тисків на виході станцій може призвести до порушення міцності трубопроводу, зменшення підпорів на вході - до кавітаційних режимів роботи обладнання. Отже, дослідження впливу скидань на параметри роботи нафтотранспортних систем з метою забезпечення їх надійної, безпечної та економічно доцільної експлуатації є актуальним питанням галузі. З цією метою авторами на основі запропонованих розроблених розрахункових алгоритмів, реалізованих у програмному забезпеченні, проведено дослідження впливу періодичних скидань частини нафти на перерозподіл гідравлічних потоків, втрат енергії на перегонах, тисків на вході і виході нафтоперекачувальних станцій, а також на величину пропускної здатності магістральних нафтопроводів. Апробація запропонованої розробки здійснена шляхом визначення режимних параметрів експлуатації діючої нафтотранспортної системи «Дружба» на ділянці Мозир-Тухольський перевал, траса якої проходить територією України. На основі аналізу отриманих результатів встановлено, що залежно від обсягу скидання місце розташування лімітуючої ділянки, яка обмежує пропускну здатність магістрального нафтопроводу загалом, може змінюватись. При цьому не завжди перегін, перед яким здійснюється скидання частини нафти, є лімітуючим. Збільшення величини скидання призводить до зростання продуктивності трубопроводу на ділянці до пункту скидання у тому випадку, коли лімітуючий перегін трубопроводу знаходиться після пункту скидання. Якщо такий перегін виявиться на ділянці трубопроводу до пункту скидання, то збільшення витрати скидання не впливає на продуктивність на початковій ділянці трубопроводу.

Ключові слова: нафтотранспортна система; нафтопровід зі скиданням; пропускна спроможність; рівняння балансу напорів, лімітуюча ділянка.

Транспортировка нефти по магистральным трубопроводам зачастую предполагает необходимость реализации постоянного или периодического сброса части потока с целью дальнейшей отгрузки сырья на нефтеперерабатывающие заводы или наливные пункты. Применение такой технологии приводит к изменению эксплуатационных режимов нефтеперекачивающих станций и нефтетранспортной системы в целом. В случае возникновения аварийной ситуации аналогом сброса является утечка нефти из трубопровода при нарушении его целостности. Сброс части потока сопровождается изменением расхода жидкости до и после места сброса, что непременно приводит к перераспределению давлений на входе и выходе промежуточных нефтеперекачивающих станций. Увеличение давления на выходе станций может привести к нарушению прочности трубопровода, уменьшение подпоров на входе - к возникновению кавитационных режимов работы оборудования. Таким образом, исследование влияния сбросов на параметры работы нефтетранспортных систем с целью обеспечения их надежной, безопасной и экономически целесообразной эксплуатации является актуальным вопросом отрасли. В связи с вышесказанным, авторами на основе предложенных разработанных расчетных алгоритмов, реализованных в программном обеспечении, проведены исследования влияния периодических сбросов части нефти на перераспределение гидравлических потоков, потерь энергии на перегонах, давлений на входе и выходе нефтеперекачивающих станций, а также на величину пропускной способности магистральных нефтепроводов. Апробация предлагаемой разработки осуществлена путем определения режимных параметров эксплуатации действующей нефтетранспортной системы «Дружба» на участке Мозырь-Тухольский перевал, трасса которого проходит по территории Украины. На основании анализа полученных результатов установлено, что в зависимости от объема сброса местоположение лимитирующего участка, ограничивающего пропускную способность магистрального

нефтепровода в целом, может изменяться. При этом не всегда перегон, перед которым осуществляется сброс части нефти, является лимитирующим. Увеличение объема сброса приводит к возрастанию продуктивности трубопровода на участке до пункта сброса в случае расположения лимитирующего перегона трубопровода после пункта сброса. Если же такой перегон окажется на участке трубопровода до пункта сбрасывания части потока, то увеличение расхода сброса не будет влиять на производительность начального участка трубопровода.

Ключевые слова: нефтетранспортная система, нефтепровод со сбросом, пропускная способность, уравнение баланса напоров, лимитирующий участок.

Transportation of oil via main pipelines often requires the need for a permanent or periodic dumping of some part of the flow for further shipment of crude oil to oil refineries or filling stations. The application of such technology leads to a change in the operating mode of oil pumping stations and the oil transportation system in general. In case of emergency, an analogue of dumping is an oil leak from the pipeline in a case of violation of its integrity. Resetting a part of the flow is accompanied by a change in a liquid flow ahead of and behind the discharge point, which inevitably leads to a redistribution of pressures at the inlet and outlet of transitional petroleum pumping stations. Increasing of pressure at the output of the stations may lead to the violation of the pipeline strength; reducing of input shoring may cause cavitation operating modes of the equipment. Therefore, the study of the impact of discharges on the parameters of the operation of oil transportation systems in order to ensure their reliable, safe and economically efficient functioning is a relevant point of this area. For this purpose, based on the proposed calculated algorithms implemented in the software, the authors conducted the research on the impact of periodic oil discharges on the redistribution of hydraulic flows, energy losses at the bends, pressure at the inlet and outlet of oil pumping stations, as well as the volume of trunk oil pipelines capacity. The approbation of the proposed elaboration is carried out by defining the operational parameters of processing in functioning of oil and transport system «Druzhba» at the Mozyr-Tukholsky pass, which runs throughout the territory of Ukraine. Based on the analysis of the obtained results it was established that, depending on the volume of a discharge, the location of the limiting area, which limits the entry capacity of the trunk pipeline in general, might be changed. At the same time, the bend, ahead of which the part of oil is discharged, is not always limiting. Increasing the volume of a discharge leads to growing capacity of the pipeline at the area ahead of the point of discharge in the case when the limiting pipeline bend is behind the discharge point. If such a bend is located on the pipeline ahead of the discharge point, the increasing discharge does not affect the capacity of the initial area of the pipeline.

Keywords: oil transportation system, main oil pipeline with a discharge, flow capacity, head balance equation, limiting segment.

Вступ. Деякі магістральні нафтопроводи великої протяжності на своєму шляху можуть мати пункти періодичного скидання частини нафти в резервуари проміжних нафтоперекачувальних станцій з метою подальшого транспортування на нафтопереробні заводи, що знаходяться поблизу нафтопроводу, на наливні пункти в залізничний або водний транспорт. До таких систем в Україні відноситься система магістральних нафтопроводів «Дружба» на ділянці Мозир – Тухольський перевал із скиданням частини нафти на ЛВДС «Броди» для наливу нафти у залізничний транспорт, магістральний нафтопровід Кременчук – Снігурівка – Августівка за аверсного і реверсного перекачування нафти із скиданням частини нафти на НПС «Снігурівка» з метою подальшого постачання на Херсонський нафтопереробний завод. Обсяг величини скидання впливає на продуктивність трубопроводу на початковій ділянці нафтопроводу і трубопроводу загалом; від нього залежить витрата рідини після пункту скидання. Зміна витрати в трубопроводі викликає зміну напорів на виході нафтоперекачувальних станцій і підпорів на вході в проміжні перекачувальні станції. Збільшення тисків на виході перекачувальних станцій може призвести до порушення міцності трубопроводу, а зменшення підпорів на вході в станції – до кавітаційних режимів роботи обладнання. Питання впливу періодичних скидань і підкачувань на режим роботи магістральних нафтопроводів розглядаються в загальних рисах у роботах [1-8]. Запропоновані методики не дають змоги врахувати місце розташування нафтоперекачувальних станцій, а також не враховують необхідність регулювання режиму перекачування у разі досягнення тиску на виході станцій більше допустимої величини або зниження тиску на вході в проміжні станції менше встановленого значення. Дослідження впливу періодичних скидань на пропускну здатність трубопроводів, що знаходяться в експлуатації, відсутні. Для визначення втрат напору на тертя, що є основним чинником, який впливає на режим роботи нафтопроводу, зазвичай, рекомендують використовувати формулу Л. С. Лейбензона. Враховуючи, що її безпосереднє застосування у разі реалізації турбулентного режиму перекачування нафти в зоні змішаного тертя неможливе, доцільно описувати втрати напору на тертя більш загальною залежністю Дарсі-Вейсбаха.

Метою роботи є дослідження впливу величини періодичних скидань на продуктивність магістрального нафтопроводу на початковій ділянці трубопроводу і пропускну здатність нафтопроводу загалом.

Об'єкт дослідження – магістральні трубопроводи для перекачування нафт.

Предмет дослідження – вплив величини періодичного скидання частини нафти на пропускну здатність магістрального нафтопроводу.

Методи дослідження: математичне моделювання режимів роботи нафтотранспортних систем за наявності періодичних скидань частини нафти.

Особливістю експлуатації нафтопроводів, на яких здійснюються періодичні скидання частини нафти, є те, що окремі ділянки такого нафтопроводу будуть працювати за різних гідравлічних режимів.

Розглянемо магістральний нафтопровід, на якому експлуатується n нафтоперекачувальних станцій, з них на ділянці до пункту скидання працює c станцій.

Для початкових ділянок трубопроводу, що знаходяться до пункту періодичного скидання, рівняння балансу напорів для кожного із перегонів буде мати вигляд

$$A_i - B_i Q^2 = \kappa\lambda_i \frac{l_i}{D_i^5} Q^2 + \Delta z_i + h_{n_i}, \qquad (1)$$

де A_i, B_i – коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики нафтоперекачувальної станції, що знаходиться на початку i-го перегону ділянки нафтопроводу до пункту скидання;

Q – витрата рідини на ділянці нафтопроводу до пункту скидання;

κ – постійний коефіцієнт,

$$\kappa = 1{,}02\frac{8}{\pi^2 g};$$

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

g – прискорення вільного падіння;

λ_i – коефіцієнт гідравлічного опору для i-го перегону між станціями;

l_i, D_i – довжина і внутрішній діаметр i-го перегону;

Δz_i – різниця геодезичних позначок кінця і початку i-го перегону;

h_{n_i} – напір в кінці i-го перегону, що передається на наступну станцію.

Для головної нафтоперекачувальної станції (першої на трубопроводі)

$$A_1 = a_n + \sum_{j=1}^{r} a_{j1}; \qquad B_1 = b_n + \sum_{j=1}^{r} b_{j1},$$

де a_n, b_n – коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики підпірного насоса вигляду $h_n = a_n - b_n Q^2$;

r – кількість основних насосів, що включаються в роботу на головній нафтоперекачувальній станції;

j – номер насоса на станції;

a_{j1}, b_{j1} – коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики j-го основного насоса на першій станції вигляду $h = a - bQ^2$.

Для всіх проміжних станцій

$$A_i = \sum_{j=1}^{r} a_{ji}; \qquad B_i = \sum_{j=1}^{r} b_{ji}.$$

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

$$A_i' - B_i'\left(Q - Q_c\right)^2 = \kappa\lambda_i \frac{l_i}{D_i^5}\left(Q - Q_c\right)^2 + \Delta z_i + h_{n_i}, \qquad (2)$$

де A_i', B_i' – коефіцієнти математичної моделі напірної характеристики нафтоперекачувальної станції, що знаходиться на початку i-го перегону ділянки нафтопроводу після пункту скидання;

Q_c – витрата, з якою скидається частина рідини.

Пропускна здатність магістрального нафтопроводу – це максимальна кількість рідини, яка може перекачуватись трубопроводом за певної схеми включення насосів на станціях і температури нафти, що перекачується. Питання визначення пропускної здатності нафтопроводів без періодичних скидань розглядаються в роботах [9,10]. Принцип визначення пропускної здатності полягає у знаходженні першої за напрямом руху нафти проміжної нафтоперекачувальної станції, на вході в яку напір виявляється меншим за мінімальну величину, за якої забезпечується безкавітаційна робота насосів.

Для виконання розрахунків з визначення пропускної здатності магістральних нафтопроводів за періодичних скидань частини нафти необхідно мати такі початкові дані:

- фізичні властивості нафти;
- геометрична характеристика кожного перегону між нафтоперекачувальними станціями (внутрішній діаметр трубопроводу, довжини і різниці геодезичних позначок кінця і початку перегонів);

- величина максимально допустимого тиску на виході нафтоперекачувальних станцій і мінімально допустимого тиску на вході в проміжні станції;

- математичні моделі напірної характеристики підпірного і основних магістральних насосів, які включаються в роботу;

- температура перекачування нафти;

- величина періодичного скидання частини нафти за одиницю часу.

Визначення пропускної здатності магістральних нафтопроводів проводиться з виконанням таких блоків розрахунків:

1) Обчислення за відомими залежностями фізичних властивостей нафти (густини та кінематичної в'язкості) за температури перекачування t.

2) Розрахунок величин максимально допустимих напорів на виході нафтоперекачувальних станцій і мінімально допустимих підпорів на вході в проміжні станції за прийнятими значеннями максимально допустимого тиску на виході станцій і мінімально допустимого тиску на вході в проміжні станції для i-го перегону між станціями.

3) Задаються величиною витрати рідини скидання Q_c, першим наближенням витрати рідини до пункту скидання Q, після чого виконують гідравлічний розрахунок для кожного перегону між станціями.

Гідравлічний розрахунок включає:

- визначення числа Рейнольдса на ділянках трубопроводу до пункту скидання

$$\mathrm{Re}_i = \frac{4Q}{\pi D_i \nu}; \qquad (3)$$

- визначення числа Рейнольдса на ділянках трубопроводу після пункту скидання

$$\mathrm{Re}_i = \frac{4(Q-Q_c)}{\pi D_i \nu}; \qquad (4)$$

- обчислення першого перехідного числа Рейнольдса для i-го перегону між станціями за вибраною методикою розрахунку;

- вибір формули для визначення коефіцієнта гідравлічного опору:

при $\mathrm{Re}_i < 2000$

$$\lambda_i = \frac{64}{\mathrm{Re}_i}, \qquad (5)$$

при $2000 < \mathrm{Re}_i < 2800$

$$\lambda_i = (0{,}16\,\mathrm{Re}_i - 13)10^{-4}, \qquad (6)$$

при $2800 < \mathrm{Re}_i < \mathrm{Re}_{n_i}$ і $\mathrm{Re}_i < 100000$

$$\lambda_i = \frac{0{,}3164}{\mathrm{Re}_i^{0{,}25}}, \qquad (7)$$

при $2800 < \mathrm{Re}_i < \mathrm{Re}_{n_i}$ і $\mathrm{Re}_i > 100000$

$$\lambda_i = \frac{1}{(1{,}8\lg \mathrm{Re}_i - 1{,}5)^2}, \qquad (8)$$

при $\mathrm{Re}_i > \mathrm{Re}_{n_i}$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} = -1{,}8\lg\left(\frac{7}{\mathrm{Re}_i} + \frac{k_e}{10D_i}\right); \qquad (9)$$

- визначення загальних втрат напору на i-му перегоні до пункту скидання

$$h_i = \kappa\lambda_i \frac{l_i}{D_i^5} Q^2 + \Delta z_i, \qquad (10)$$

- визначення загальних втрат напору на i-му перегоні після пункту скидання

$$h_i = \kappa\lambda_i \frac{l_i}{D_i^5} (Q - Q_c)^2 + \Delta z_i. \qquad (11)$$

4) За математичними моделями розраховують напір, що створюють насоси, які включаються в роботу:

- підпірний насос на головній нафтоперекачувальній станції

$$h_n = a_n - b_n Q^2, \qquad (12)$$

- основні насоси на нафтоперекачувальних станціях трубопроводу до пункту скидання

$$h_{ji} = a_{ji} - b_{ji} Q^2, \qquad (13)$$

- основні насоси на нафтоперекачувальних станціях після пункту скидання

$$h_{ji} = a_{ji} - b_{ji} (Q - Q_c)^2. \qquad (14)$$

5) Перевіряють перевищення підпору на вході в проміжні станції над мінімально допустимою величиною. Для цього:

- розраховують напір на виході головної нафтоперекачувальної станції (напір на початку першого перегону)

$$H_{cm_1} = h_{n_o} + \sum h_{j1}, \qquad (15)$$

якщо $H_{cm_1} > H_{\max_1}$, то для подальших розрахунків приймають $H_{cm_1} = H_{\max_1}$;

- обчислюють величину підпору на вході в першу проміжну станцію (в кінці першого перегону)

$$h_{n_1} = H_{cm_1} - h_1. \qquad (16)$$

- розраховують перевищення підпору на вході в станцію над мінімально допустимою величиною підпору

$$\Delta h_1 = h_{n_1} - h_{\min_1}. \qquad (17)$$

- визначають напір на виході першої проміжної станції із врахуванням підпору, що передається на цю станцію (напір на початку другого перегону),

$$H_{cm_2} = h_{n_1} + \sum h_{j2}, \qquad (18)$$

ISSN 1993–9868 print
ISSN 2415–3109 online

якщо $H_{cm_2} > H_{\max_2}$, то напір на початку другого перегону приймають за умовою $H_{cm_2} = H_{\max_2}$ і визначають величину підпору в кінці другого перегону

$$h_{n_2} = H_{cm_2} - h_2 . \quad (19)$$

- обчислюють перевищення підпору на вході в другу станцію над допустимою величиною

$$\Delta h_2 = h_{n_2} - h_{\min_2} . \quad (20)$$

Такі розрахунки виконують для всіх перегонів між станціями на ділянках нафтопроводу до і після пунктів скидання.

Якщо для всіх перегонів перевищення підпорів над мінімально допустимим значенням додатні, то збільшують продуктивність на величину ΔQ і розрахунки повторюють, починаючи від пункту 3.

Розрахунки виконуються з використанням комп'ютерних технологій шляхом поступового нарощування продуктивності Q.

Перший перегін, для якого за певного значення продуктивності Q отримано перевищення підпору над мінімально допустимою величиною від'ємне, обмежує пропускну здатність всього нафтопроводу. Це свідчить про те, що за більших значень продуктивності на вході в станцію не забезпечується необхідний підпір, і насоси працюватимуть у кавітаційному режимі. Тому пропускною здатністю нафтопроводу вважається продуктивність, дещо менша (передостаннє наближення) від тієї продуктивності, за якої починається кавітаційний режим роботи насосів.

Нафтоперекачувальні станції більшості вітчизняних нафтопроводів оснащені різнотиповими насосами, напірні та енергетичні характеристики яких суттєво відрізняються. Лінійна частина нафтопроводів характеризується складною гідравлічною структурою, значною протяжністю і певною кількістю перегонів, які помітно різняться гідравлічним опором. В такому випадку лімітуючими можуть бути параметри вже не тієї станції, на якій реалізоване скидання нафти, а будь-якої іншої.

Таким чином, вибір та реалізація найбільш ефективного з мінімальними енергетичними затратами способу регулювання режимів роботи нафтопроводів, на яких організоване скидання, у кожному конкретному випадку потребує визначення відповідних режимних параметрів роботи кожної нафтоперекачувальної станції, розташованої на трубопроводі. З метою проведення аналізу залежності витрати рідини в магістральному нафтопроводі та величини підпору на вході в станції від величини витрати скидання розроблене програмне забезпечення, яке дає змогу на основі отриманих результатів розрахунку оцінити транспортні можливості нафтопроводу, спрогнозувати обсяги постачання та запропонувати найбільш ефективну технологію перекачування нафти.

Запропонований алгоритм розрахунку, апробований для магістрального нафтопроводу «Дружба» на ділянці Мозир - Броди - Тухольський перевал із скиданням частини нафти на ЛВДС «Броди».

З використанням комп'ютерних технологій проведені дослідження другої черги нафтопроводу діаметром 720 х 9 мм загальною довжиною 602,4 км. На нафтопроводі працює вісім нафтоперекачувальних станцій, на вході п'ятої станції, що знаходиться на 394,4 км, здійснюється скидання частини нафти. Головна нафтоперекачувальна станція оснащена підпірними насосами НМП 2500-74, крім того, на головній і кожній проміжній станції встановлені основні магістральні насоси типу НМ 2500-230 і НМ 3600-230 з базовими і змінними роторами. Розрахунки виконані для декількох комбінацій включення насосів на станціях. Трубопроводом перекачується нафта густиною $\rho_{20} = 867{,}5\ кг/м^3$, кінематична в'язкість відповідно за температури 0 та 20 °С якої становить $\nu_0 = 49{,}16\ сСт$; $\nu_{20} = 16{,}27\ сСт$, температура перекачування нафти $t = 6{,}3\ ^oC$. Значення максимально допустимих тисків на виході станцій $P_{доп_i}$, мінімально допустимих тисків на вході в проміжні станцій і в кінці ділянки нафтопроводу P_{n_i}, довжини l_i і різниці геодезичних позначок кінця і початку кожного із перегонів між станціями Δz_i зведені до таблиці 1.

З метою аналізу впливу величини періодичних скидань на пропускну здатність магістрального нафтопроводу проведені розрахунки за умови різних комбінацій насосних агрегатів нафтоперекачувальних станцій. Отримані результати для відповідних схем включення в роботу технологічних насосів на кожній НПС зведені до таблиці 2.

На основі аналізу результатів проведених досліджень було встановлено ряд закономірностей. Зокрема, виявлено, що із збільшенням величини скидання продуктивність трубопроводу на ділянці до пункту скидання зростає. Але це відбувається тільки тоді, коли лімітуючий перегін трубопроводу знаходиться після пункту скидання. Залежно від величини скидання лімітуючий перегін може змінюватись. Якщо такий перегін виявиться на ділянці тру-

Таблиця 1 – Характеристика допустимих тисків, довжини і різниці геодезичних позначок кінця і початку перегонів між станціями

Характеристика	Нафтоперекачувальні станції							
	Мозир	Плещівка	Чижівка	Новини	Броди	Куровичі	Жулин	Карпати
Допустимий тиск на виході НПС, *МПа*	4,71	4,71	4,71	4,71	4,9	4,9	4,8	4,8
Мінімально допустимий тиск на вході в НПС, *МПа*	0,29	0,29	0,29	0,29	0,43	0,34	0,34	0,1
Довжина прилеглої ділянки, *км*	102,4	95,9	96,4	99,7	63	85	47	13
Різниця геодезичних позначок кінця і початку прилеглої ділянки, *м*	4,6	39,1	30,4	-0,9	47,4	41,3	323,3	389,2

Таблиця 2 – Результати розрахунків з визначення пропускної здатності магістрального нафтопроводу за періодичних скидань частини нафти

Витрата, з якою скидається нафта, $м^3$/год	Режим перекачування							
	П,1-1-1-1-1-1-1-1,2		П,2-2-2-2-2-2-2-2		П,4-4-4-4-4-4-4-2,3		П,1,2-1,2-1,2-1,2-1,2-1,2-1,2-1,2	
	Витрата до пункту скидання, $м^3$/год.	Лімітуючий перегін	Витрата до пункту скидання, $м^3$/год.	Лімітуючий перегін	Витрата до пункту скидання, $м^3$/год.	Лімітуючий перегін	Витрата до пункту скидання, $м^3$/год.	Лімітуючий перегін
0	1554,1	7	1445,1	8	1647,3	7	2137,1	7
50	1570,9	7	1474,3	8	1664,1	7	2187,1	7
100	1587,5	7	1491,5	8	1680,5	7	2237,1	7
150	1603,7	7	1508,5	8	1696,9	7	2287,1	7
200	1619,7	7	1525,3	8	1701,9	3	2326,1	4
250	1635,5	7	1541,7	8	1701,9	3	2326,1	4
300	1650,9	7	1557,7	8	1701,9	3	2326,1	4
350	1665,1	3	1573,5	8	1701,9	3	2326,1	4
400	1665,1	3	1580,9	4	1701,9	3	2326,1	4
450	1665,1	3	1580,9	4	1701,9	3	2326,1	4
500	1665,1	3	1580,9	4	1701,9	3	2326,1	4
550	1665,1	3	1580,9	4	1701,9	3	2326,1	4

бопроводу до пункту скидання, то збільшення витрати скидання не вплине на продуктивність на початковій ділянці трубопроводу.

Аналіз даних, наведених в таблиці 2, свідчить, що за сталої величини витрати скидання пропускна здатність нафтопроводу залежить від того, які насоси включаються в роботу. У разі збільшення величини витрати скидання змінюється лімітуюча ділянка, яка обмежує пропускну здатність нафтопроводу загалом. Виявлено, що не завжди перегін, перед яким здійснюється скидання частини нафти, є лімітуючим.

Наукова новизна результатів досліджень полягає у виявленні впливу величини скидання частини нафти на пропускну здатність магістральних нафтопроводів із заданим розміщенням нафтоперекачуальних станцій.

Практична цінність отриманих результатів. Запропонований алгоритм розрахунків може бути використаний підприємствами, що займаються перекачуванням нафти, для прогнозування продуктивності магістральних нафтопроводів за тієї чи іншої величини скидання частини нафти. На основі розрахунків можуть бути виявлені енергоефективні режими перекачування.

Література

1. Нечваль А. М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. Уфа : ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001. 168 с.

2. Коршак А. А., Нечваль А. М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. Ростов-на-Дону, 2016. 504 с.

3. Краус Ю. А. Проектирование и эксплуатация магистральных нефтепроводов. Омск : ОмГТУ, 2010. 102.

4. Зубарев В. Г. Магистральные газонефтепроводы. Тюмень : ТюмГНГУ, 1998. 80 с.

5. Кутуков С.Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов. М. : СИП РИА, 2002. 324 с.

6. Michael V. Lurie. Modeling of Oil Product and Gas Pipeline Transportation. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008. 230 p.

7. Bahadori A. Oil and Gas Pipelines and Piping Systems: Design, Construction, Management and Inspection. 2017. 660 p.

8. Якимів Й. В., Бортняк О. М. Проектування та експлуатація нафтопроводів. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. 171 с.

9. Якимів Й. В., Кацаба В. М. Мінімальні витрати електроенергії як критерій оптимізації режимів роботи магістральних нафтопроводів. *Прикарпатський вісник НТШ. Число*. 2012. № 1(17). С. 271-277.

10. Якимів Й. В., Бортняк О. М. Режими роботи магістральних нафтопроводів з періодичними скиданнями і підкачуваннями. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2017. № 3(25), том 1. С. 188-190.

References

1. Nechval A. M. Proektirovanie i ekspluatatsiya gazonefteprovodov. Ufa : OOO «Dizayn-PoligrafServis», 2001. 168 p.

2. Korshak A. A., Nechval A. M. Proektirovanie i ekspluatatsiya gazonefteprovodov. Rostov-na-Donu, 2016. 504 p.

3. Kraus Yu. A. Proektirovanie i ekspluatatsiya magistralnyih nefteprovodov. Omsk : OmGTU, 2010. 102.

4. Zubarev V. G. Magistralnyie gazonefteprovodyi. Tyumen : TyumGNGU, 1998. 80 p.

5. Kutukov S.E. Informatsionno-analiticheskie sistemyi magistralnyih truboprovodov. M. : SIP RIA, 2002. 324 s.

6. Michael V. Lurie. Modeling of Oil Product and Gas Pipeline Transportation. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008. 230 p.

7. Bahadori A. Oil and Gas Pipelines and Piping Systems: Design, Construction, Management, and Inspection, 2017. 660 p.

8. Yakymiv Y. V., Bortniak O. M. Proektuvannia ta ekspluatatsiia naftoprovodiv. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2015. 171 p.

9. Yakymiv Y. V., Katsaba V. M. Minimalni vytraty elektroenerhii yak kryterii optymizatsii rezhymiv roboty mahistralnykh naftoprovodiv. *Prykarpatskyi visnyk NTSh. Chyslo*. 2012. No 1(17). P. 271-277.

10. Yakymiv Y. V., Bortniak O. M. Rezhymy roboty mahistralnykh naftoprovodiv z periodychnymy skydanniamy i pidkachuvanniamy. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Internauka»*. 2017. No 3(25), tom 1. P. 188 – 190.