

УДК 622.692.4

**Середюк Марія Дмитрівна**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри  
транспорту і зберігання нафти і газу  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу

**Григорський Станіслав Ярославович**

кандидат технічних наук, асистент кафедри  
транспорту і зберігання нафти і газу  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу

**Середюк Мария Дмитриевна**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
транспорта и хранения нефти и газа  
Ивано-Франковский национальный технический  
университет нефти и газа

**Григорский Станислав Ярославович**

кандидат технических наук, ассистент кафедры  
транспорта и хранения нефти и газа  
Ивано-Франковский национальный технический  
университет нефти и газа

**Serediuk M.**

doctor of technical sciences, professor, head of department  
department of transport and storage of oil and gas  
Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas

**Grygorskyi S.**

PhD, assistant lecturer,  
department of transport and storage of oil and gas  
Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ УСЕРЕДНЕНОЇ ВИТРАТИ НАФТИ  
ЗА ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У НАФТОПРОВОДІ**

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСРЕДНЕННОГО РАСХОДА НЕФТИ  
ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ В НЕФТЕПРОВОДЕ**

**METHOD FOR DETERMINING MEAN OIL FLOWRATE  
DURING TRANSIENT PROCESSES IN OIL PIPELINE**

**Анотація:** За результатами промислових експериментів, проведених на діючому нафтопроводі, встановлено закономірності зміни витрати за неусталених процесів, спричинених зміною кількості працюючих агрегатів на нафтоперекачувальних станціях. Розроблено метод визначення усередненої витрати нафти за часом і довжиною, що дає змогу уточнити пропускну здатність магістрального нафтопроводу за неусталених процесів експлуатації.

**Ключові слова:** неусталений гідродинамічний процес, витрата нафти, пропускну здатність, запуск насосних агрегатів.

**Аннотация:** По результатам промышленных экспериментов, проведенных на действующем нефтепроводе, установлены закономерности изменения расхода за неустановившихся процессов, вызванных изменением количества работающих агрегатов на нефтеперекачивающих станциях. Разработан метод определения усредненного расхода нефти во времени и по длине трубопровода, что позволяет уточнить пропускную способность магистрального нефтепровода при неустановившихся процессах эксплуатации.

**Ключевые слова:** неустановившейся гидродинамический процесс, расход нефти, пропускная способность, запуск насосных агрегатов.

**Summary:** Basing on the results of industrial experiments, carried out on the real pipeline, the patterns of flowrate changes during unsteady processes, caused by a changing the number of working units at oil pumping stations, were

established. The method of determining mean oil flowrate against time and length was developed, which allows to specify the flow capacity of the oil pipeline during unsteady processes in operation.

**Keywords:** unsteady hydrodynamic process, oil flowrate, flow capacity, pumping units start.

Одним із основних завдань як при проектуванні, так і при експлуатації магістральних нафтопроводів є прогнозування їх пропускної здатності з урахуванням всіх впливових чинників. Методика визначення пропускної здатності нафтопроводу за усталених режимів роботи відпрацьована і десятки років успішно використовується в трубопроводному транспорті нафти [1].

В останні роки магістральні нафтопроводи України працюють зі значним недовантаженням. За наявних на кожній нафтоперекачувальній станції (НПС) чотирьох магістральних насосів сьогодні включають у роботу один чи два насосні агрегати. Особливістю насосних агрегатів НПС нафтопроводів є наявність різних типів роторів. Це створює технічну можливість регулювання обсягів транспортування нафти нафтопроводами у широких межах шляхом використання різних комбінації включених насосних агрегатів на НПС. Зазначена технологія окрім явних переваг має недолік. Кожна зупинка чи запуск насосного агрегату на НПС спричинює виникнення нестационарних (перехідних) процесів, що характеризуються швидкоплинними змінами як тиску, так і витрати транспортованої рідини [2, 3].

Закономірності зміни тиску, спричинені зупинками і запусками насосних агрегатів на НПС магістральних нафтопроводів, розглянуті нами в роботах [4-9]. На сьогодні важливе для практики питання впливу перехідних процесів на пропускну здатність магістрального нафтопроводу не знайшло відображення у роботах вітчизняних і зарубіжних вчених. Прогнозування пропускної здатності нафтопроводу за неусталених режимів

дасть змогу раціонально планувати обсяги перекачування нафти, оптимізувати режими його експлуатації, більш точно визначати об'єм нафти, що знаходиться у порожнині трубопроводу.

Метою роботи є встановлення експериментальним шляхом на діючому магістральному нафтопроводі закономірностей зміни витрати нафти при перехідних процесах, спричинених запусками насосних агрегатів, і розроблення на цій основі методу знаходження усередненого значення витрати.

У процесі досліджень вирішувались такі задачі:

- 1) побудова графічних залежностей зміни витрати нафти від часу перехідного процесу на НПС, де відбувся запуск нафтового насоса серії НМ;
- 2) виявлення впливу відстані від місця збурення на закономірності зміни витрати нафти у часі під час перехідного процесу, спричиненого запуском насосного агрегату;
- 3) розроблення методу визначення усередненої за часом і довжиною витрати нафти під час перехідних процесів в нафтопроводі.

Методи дослідження – вимірювання параметрів руху нафти в магістральних нафтопроводах, математичне опрацювання результатів з використанням комп'ютерних технологій.

Промислові експерименти проведено на ділянці вітчизняного нафтопроводу з номінальним діаметром 700 мм і протяжністю 394 км. На трасі нафтопроводу працюють чотири НПС, які обладнано нафтовими насосами серії НМ. На ділянці нафтопроводу встановлено контрольні пункти, оснащені засобами контролю тиску і витрати. Для вимірювання тиску транспортованої рідини використовують давачі тиску типу Mikrotran F-R Fishers з класом точності 0,075-0,1. За швидкоплинних перехідних процесів у нафтопроводі вимірювання тиску нафти проводилось з частотою 0,2 с. Для вимірювання витрати нафти на кожній НПС обладнаний вузол обліку нафти. На НПС1 улаштовано пункт обліку, який складається з трьох паралельних ниток та оснащений турбінними витратомірами об'ємної

витрати нафти. На всіх інших НПС встановлено систему вимірювання витрати нафти Uniflow фірми Controlotron, в яку входить потоковий накладний двоканальний ультразвуковий витратомір.

Під час проведення промислових експериментів густина транспортованої нафти змінювалась у діапазоні від 864 до 880 кг/м<sup>3</sup>. Коефіцієнт кінематичної в'язкості нафти варіював від 16 до 35 сСт.

Аналіз результатів промислових експериментів засвідчив, що при запуску насосного агрегату на довільній НПС спостерігаються суттєві зміни витрати нафти у кожній точці лінійної частини нафтопроводу. Проілюструємо одержані результати для одного із режимів роботи, за якого на НПС1 і НПС3 працювало по одному магістральному насосу. Витрата нафти в нафтопроводі до запуску додаткового насосного агрегату становила 1130 м<sup>3</sup>/год. О 15 год 01 хв був здійснений запуск насосного агрегату на НПС2. На рисунку 1 зображено побудовану за експериментальними даними графічну залежність витрати нафти на НПС2 від часу, що відлічується від початку перехідного процесу.

Із рисунка 1 видно, що протягом 30 с після запуску насосного агрегату витрата нафти на відповідній НПС стрибкоподібно зросла від значення 1130 м<sup>3</sup>/год до значення 2150 м<sup>3</sup>/год. Таким чином амплітуда стрибкоподібного зростання витрати становила 1020 м<sup>3</sup>/год. Потім протягом шести хвилин витрата нафти нелінійно зменшувалася до значення 1580 м<sup>3</sup>/год. Третій етап перехідного процесу тривалістю вісім хвилин характеризувався менш інтенсивним зменшенням витрати нафти до значення 1500 м<sup>3</sup>/год, що відповідає новому усталеному режиму роботи нафтопроводу. Загальна тривалість перехідного процесу в нафтопроводі за змінами витрати нафти для зазначеного досліду становила порядку п'ятнадцяти хвилин.

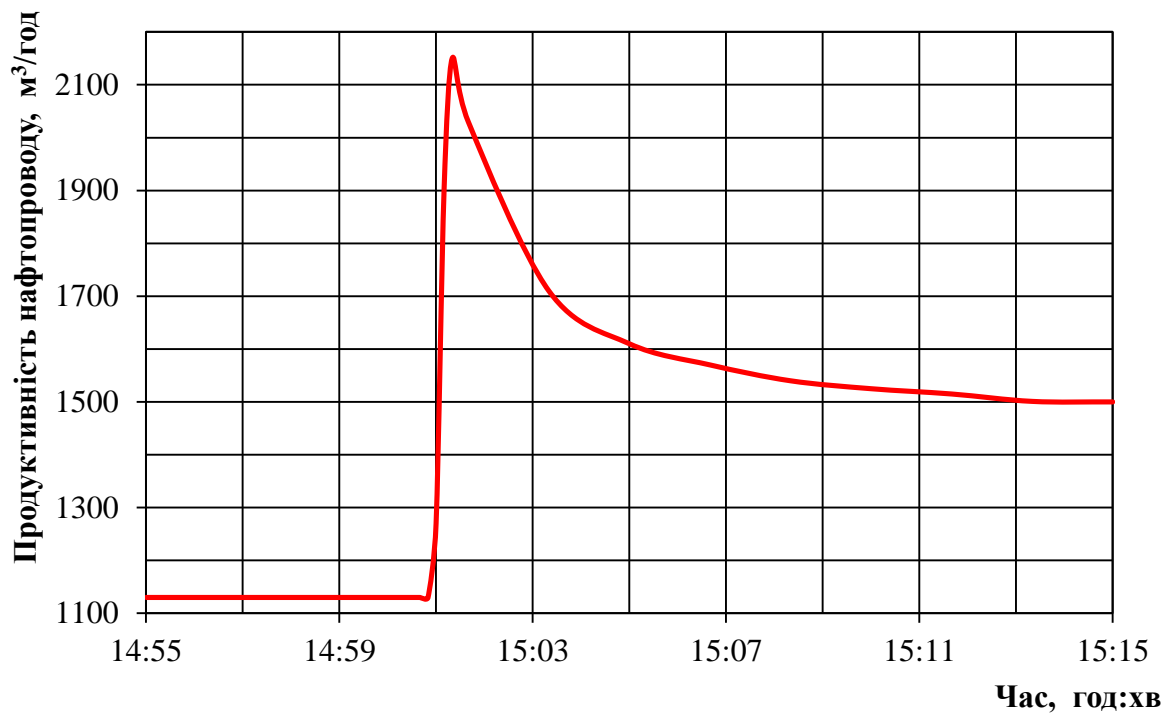


Рисунок 1 - Зміна об'ємної витрати нафти у часі на НПС2, де відбувся запуск насосного агрегату

Запуск насосного агрегату на НПС2 створив дві хвилі: хвилю пониження і хвилю підвищення тиску. Хвиля пониження тиску зі швидкістю звуку  $c$  рухалася нафтопроводом до НПС1, викликаючи зміни тиску у кожного перерізі трубопроводу. Хвиля підвищення тиску звуку переміщалася нафтопроводом до НПС3 і НПС4, спричинюючи зміни тиску у кожного перерізі трубопроводу. Хвилі тиску спричинили відповідні зміни витрати нафти. Рисунки 2 і 3 ілюструють одержані експериментальним шляхом закономірності зміни витрати нафти у часі на НПС3 і НПС4, що розміщені після НПС2 на відстані 96 та 193 км відповідно від місця виникнення збурення.

Аналіз графіків на рисунках 2 і 3 засвідчує, що із збільшенням відстані від місця збурення спостерігається поступове затухання хвилі підвищеного тиску, що спричинює зменшення амплітуди стрибкоподібного зростання витрати нафти. Так на відстані 96 км від місця збурення амплітуда стрибкоподібного підвищення тиску зменшилася до величини  $330 \text{ м}^3/\text{год}$ , а на відстані 193 км становила лише  $210 \text{ м}^3/\text{год}$ .

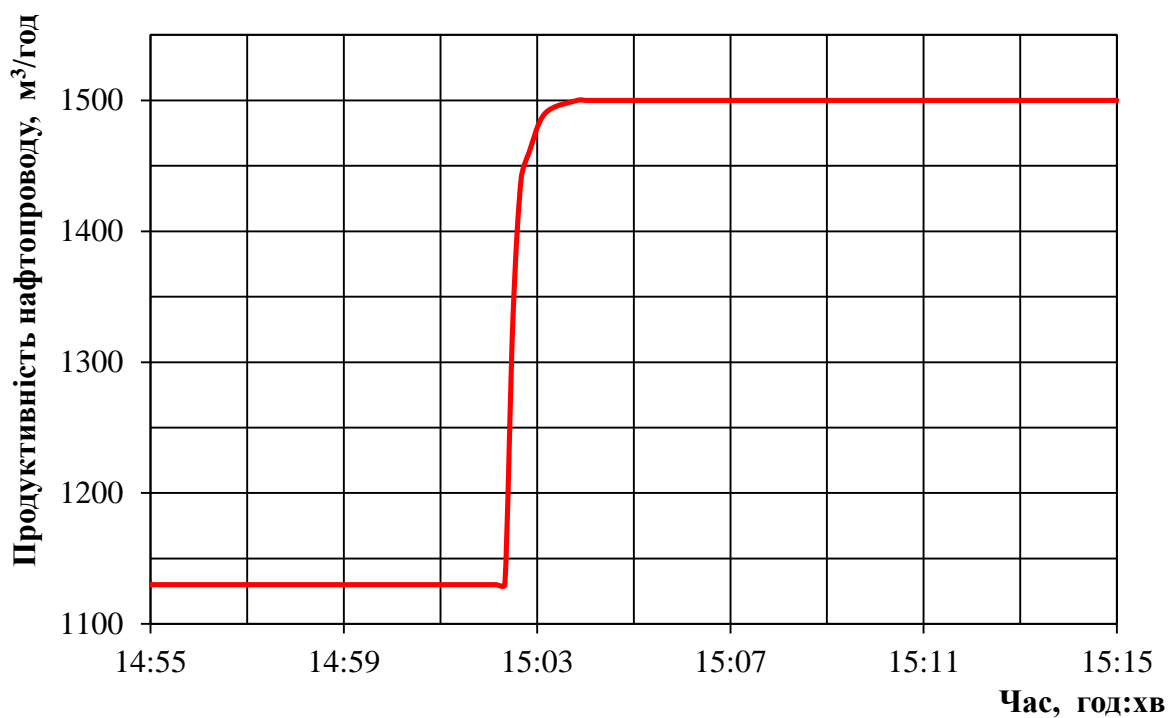


Рисунок 2 - Зміна об'ємної витрати нафти у часі на НПС3, що розміщена на відстані 96 км від місця виникнення збурення за результатами експерименту

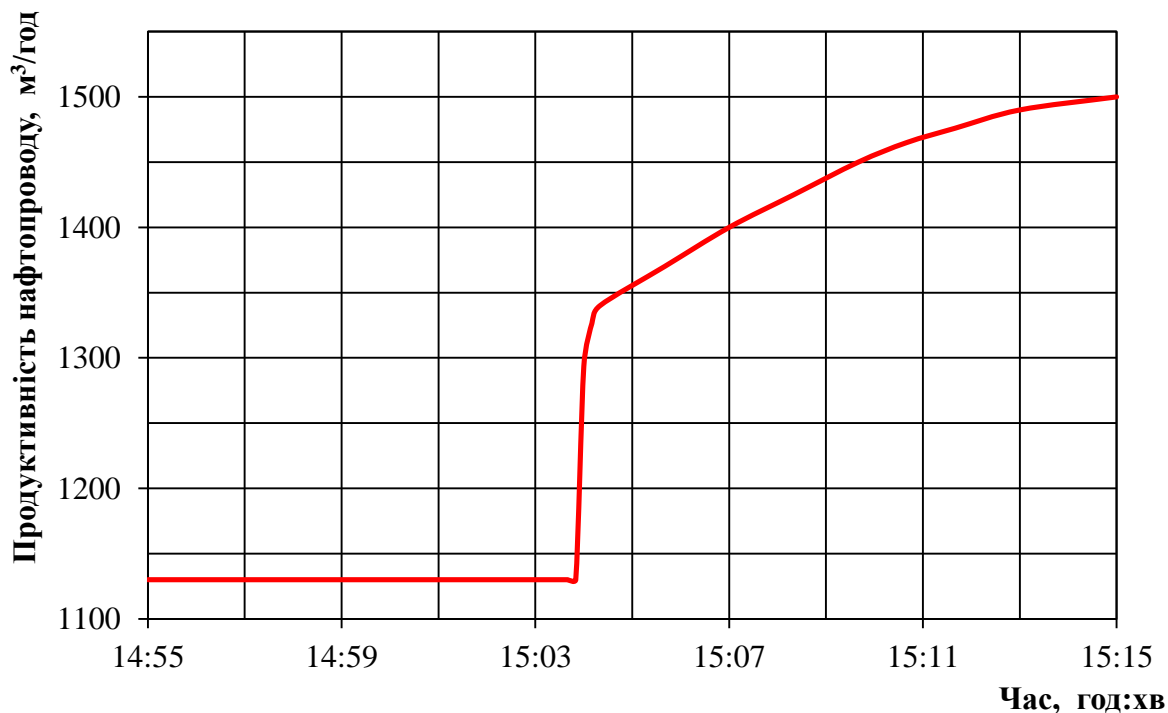


Рисунок 3 - Зміна об'ємної витрати нафти у часі на НПС4, що розміщена на відстані 193 км від місця виникнення збурення за результатами експерименту

Закономірності зміни витрати нафти на другому і третьому етапах перехідного процесу також суттєво залежать від відстані від місця збурення. Якщо витрата нафти у кінці першого стрибкоподібного етапу перевищує значення, що відповідає новому усталеному режиму роботи нафтопроводу, то на другому і третьому етапах спостерігається зменшення витрати (див. рисунок 1). В інших випадках другий і третій етапи перехідного процесу характеризуються зростанням витрати нафти до значення, що відповідає усталеному режиму експлуатації нафтопроводу з додатковим працюючим насосом (див. рисунки 2 і 3).

Для будь-якого перерізу нафтопроводу, розміщеного на відстані  $x$  від джерела виникнення збурення, залежність витрати нафти від часу  $t$ , що відлічується від початку певного етапу перехідного процесу, можна описати так:

- для першого етапу перехідного процесу

$$Q = Q_n + K(x) \cdot t, \quad (1)$$

де  $Q_n$  - витрата нафти в нафтопроводі до запуску насосного агрегату;

$K(x)$  - коефіцієнт інтенсивності стрибкоподібного зростання витрати, функція відстані від місця збурення  $x$ ;

- для другого етапу перехідного процесу

$$Q = \sum_{i=1}^4 A_i(x) \cdot t^{i-1}; \quad (2)$$

- для третього етапу перехідного процесу

$$Q = \sum_{i=1}^4 B_i(x) \cdot t^{i-1}, \quad (3)$$

де  $A_i(x), B_i(x)$  - коефіцієнти математичних моделей, функціональні залежності від відстані до місця збурення  $x$ , розроблені за результатами промислових експериментів.

Для коефіцієнтів математичних моделей у формулах (2) і (3) використаємо такі аналітичні вирази (за умови підстановки відстані  $x$  в кілометрах):



$$A_i(x) = \sum_{j=1}^3 a_{ji} \cdot x^{3-j}; \quad (4)$$

$$B_i(x) = \sum_{j=1}^3 b_{ji} \cdot x^{3-j}. \quad (5)$$

За даними промислового експерименту, що розглядається, для місця виникнення збурення – НПС2 ( $x = 0$ ) одержано такі залежності:

- для першого етапу перехідного процесу (м<sup>3</sup>/год)

$$Q = 1130 + 34 \cdot t; \quad (6)$$

- для другого етапу перехідного процесу (м<sup>3</sup>/год)

$$Q = -4,088 \cdot 10^{-5} \cdot t^3 + 2,797 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 - 6,555 \cdot t + 2150, \quad (7)$$

- для третього етапу перехідного процесу (м<sup>3</sup>/год)

$$Q = 8,859 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - 1,286 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 + 3,616 \cdot 10^{-1} \cdot t + 1580. \quad (8)$$

Експерименти засвідчили, що під час перехідного процесу витрата нафти змінюється за складним законом як в кожному перерізі, так і по довжині нафтопроводу. У процесі експлуатації нафтопроводу важливо встановити як зазначені зміни впливають на усереднене за часом і довжиною значення витрати нафти.

Для вирішення даної задачі насамперед необхідно аналітично описати залежність витрати нафти від часу  $\tau$ , що відлічується від початку перехідного процесу у точці виникнення збурення (при  $x = 0$ ), і відстані до місця виникнення збурення  $x$ .

Вважаємо, що тривалість перехідного процесу у кожному перерізі нафтопроводу однакова і становить відповідно для першого етапу  $\tau_1$ , для другого етапу  $\tau_2$  і третього етапу  $\tau_3$ . Ділянка нафтопроводу, де відбувається перехідний процес має довжину  $L$ .

Якщо виконується умова  $\tau \leq x/c$

$$Q = Q_n; \quad (9)$$

- за виконання умови  $x/c < \tau \leq x/c + \tau_1$

$$Q = Q_n + (K_n + k_1 \cdot x + k_2 \cdot x^2) \cdot \left( \tau - \frac{x}{c} \right), \quad (10)$$

- за виконання умови  $x/c + \tau_1 < \tau \leq x/c + \tau_1 + \tau_2$

$$Q = \sum_{i=1}^4 A_i(x) \cdot \left[ \tau - \left( \frac{x}{c} + \tau_1 \right) \right]^{4-i}, \quad (11)$$

- за виконання умови  $x/c + \tau_1 + \tau_2 < \tau \leq x/c + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$

$$Q = \sum_{i=1}^4 B_i(x) \cdot \left[ \tau - \left( \frac{x}{c} + \tau_1 + \tau_2 \right) \right]^{4-i}, \quad (12)$$

- за виконання умови  $x/c + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 < \tau \leq \tau_{mn} = L/c + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$

$$Q = Q_k. \quad (13)$$

У формулах (11) і (12) коефіцієнти  $A_i(x)$  і  $B_i(x)$  описані функціями вигляду (4) і (5) відповідно.

Після цього необхідно обчислити визначений інтеграл з урахуванням математичних виразів (9)-(13)

$$I_{\text{зов}} = \int_0^L dx \int_0^{\tau_{mn}} Q(\tau, x) \cdot d\tau. \quad (14)$$

Усереднена за часом і довжиною витрата нафти під час перехідного процесу у нафтопроводі буде дорівнювати

$$Q_{\text{сеп}} = \frac{I_{\text{зов}}}{L \cdot \tau_{mn}}. \quad (15)$$

Внутрішній інтеграл у формулі (14) у результаті математичних перетворень набуває вигляду

$$I_{\text{вн}} = \frac{x}{c} \cdot Q_n + (K_n + k_1 x + k_2 x^2) \cdot \frac{\tau_1^2}{2} + \sum_{i=1}^4 A_i(x) \cdot \frac{\tau_2^i}{i} + \sum_{i=1}^4 B_i(x) \cdot \frac{\tau_3^i}{i} + \frac{L-x}{c} \cdot Q_k. \quad (16)$$

Значення внутрішнього інтегралу дає змогу визначити усереднену за час перехідного процесу витрату нафти у довільному перерізі  $x$  нафтопроводу

$$Q_{\text{сеп}_x} = \frac{I_{\text{вн}}}{\tau_{mn}}. \quad (17)$$

У результаті інтегрування виразу (14) одержано таку розрахункову формулу для усередненої за часом і довжиною витрати нафти у нафтопроводі за час перехідного процесу, спричиненого запуском чи зупинкою насосного агрегату:

$$Q_{сер} = \frac{1}{\tau_{mn}} \cdot \left[ \frac{L}{2 \cdot c} \cdot (Q_n + Q_k) + \frac{\tau_1^2}{2} \cdot \left( K_n + k_1 \cdot \frac{L}{2} + k_2 \cdot \frac{L^2}{3} \right) + \sum_{i=1}^4 \frac{\tau_2^i}{i} \cdot \left( a_{i1} \cdot \frac{L^2}{3} + a_{i2} \cdot \frac{L}{2} + a_{i3} \right) + \sum_{i=1}^4 \frac{\tau_3^i}{i} \cdot \left( b_{i1} \cdot \frac{L^2}{3} + b_{i2} \cdot \frac{L}{2} + b_{i3} \right) \right]. \quad (18)$$

З метою апробації запропонованої методики визначимо усереднену витрату нафти для проаналізованого вище перехідного процесу, спричиненого запуском насосного агрегату на НПС2. Приклади одержаних графічних залежностей зміни витрати нафти у часі за результатами промислового експерименту наведено на рисунках 1, 2 і 3. За результатами вимірювання маємо

$$Q_n = 1130 \text{ м}^3/\text{год}, \quad Q_k = 1500 \text{ м}^3/\text{год}, \quad \tau_1 = 30 \text{ с}, \quad \tau_2 = 380 \text{ с}, \\ \tau_3 = 440 \text{ с}, \quad c = 1,10 \text{ км/с}, \quad L = 193 \text{ км}, \quad K_n = 34 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{с}), \\ k_1 = 3,382 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{км} \cdot \text{с}), \quad k_2 = 1,028 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{км}^2 \cdot \text{с}).$$

У таблиці наведено обчислені за результатами промислового експерименту значення коефіцієнтів математичних моделей для визначення усередненої витрати нафти під час перехідного процесу, спричиненого запуском насосного агрегату на НПС2

За формулою (18) обчислюємо усереднену за часом і довжиною витрату нафти у нафтопроводі за час перехідного процесу, спричиненого запуском насосного агрегату на НПС2

$$Q_{сер} = 1434 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таблиця 1 - Коефіцієнти математичних моделей для визначення усередненої витрати нафти під час перехідного процесу, спричиненого запуском насосного агрегату на НПС2

Позначення	Числове значення	Позначення	Числове значення	Позначення	Числове значення
$a_{11}$	$-2,373 \cdot 10^{-9}$	$a_{33}$	-6,552	$b_{22}$	$2,384 \cdot 10^{-5}$
$a_{12}$	$6,689 \cdot 10^{-7}$	$a_{41}$	$3,083 \cdot 10^{-2}$	$b_{23}$	$-1,286 \cdot 10^{-3}$
$a_{13}$	$-4,088 \cdot 10^{-5}$	$a_{42}$	-10,15	$b_{31}$	$5,184 \cdot 10^{-5}$
$a_{21}$	$1,632 \cdot 10^{-6}$	$a_{43}$	2150	$b_{32}$	$-8,743 \cdot 10^{-3}$
$a_{22}$	$-4,608 \cdot 10^{-4}$	$b_{11}$	$6,531 \cdot 10^{-11}$	$b_{33}$	0,3616
$a_{23}$	$2,797 \cdot 10^{-2}$	$b_{12}$	$-1,550 \cdot 10^{-8}$	$b_{41}$	$-5,404 \cdot 10^{-3}$
$a_{31}$	$-3,706 \cdot 10^{-4}$	$b_{13}$	$8,859 \cdot 10^{-7}$	$b_{42}$	-0,3146
$a_{32}$	$1,075 \cdot 10^{-1}$	$b_{21}$	$-1,087 \cdot 10^{-7}$	$b_{43}$	1580

Одержане значення усередненої витрати суттєво відрізняється від значень витрати нафти на початку і в кінці перехідного процесу, а також від їх середньоарифметичного значення. Результат обчислень витрати нафти не може прогнозуватися ні однією наявною на сьогодні методикою розрахунків параметрів перехідних процесів у магістральних нафтопроводах.

Нами розроблено обчислювальний алгоритм і програмне забезпечення, які дають змогу за наявності дослідних даних зміни витрати нафти у часі і за довжиною нафтопроводу визначати необхідний комплекс коефіцієнтів математичних моделей та обчислювати усереднену витрату нафти для будь-якого перехідного процесу, спричиненого запуском чи зупинкою насосних агрегатів на НПС.

Опрацювання експериментальних досліджень впливу запусків насосних агрегатів на закономірності зміни витрати нафти в магістральному нафтопроводі, дали змогу зробити такі висновки:

1. При запуску насосного агрегату на довільній НПС спостерігаються суттєві зміни витрати нафти у часі за складним законом як в кожному перерізі, так і по довжині нафтопроводу.

2. Перший етап перехідного процесу тривалістю до 30 с характеризується стрибкоподібним підвищенням витрати нафти практично за лінійним законом.
3. Із збільшенням відстані від місця збурення спостерігається поступове затухання хвилі зміни тиску, що спричинює зменшення амплітуди стрибкоподібного зростання витрати нафти.
4. Закономірності зміни витрати нафти на другому і третьому етапах перехідного процесу суттєво залежать від відстані від місця збурення. Якщо витрата нафти у кінці першого етапу перевищує значення, що відповідає новому усталеному режиму роботи нафтопроводу, то на другому і третьому етапах спостерігається зменшення витрати. В інших випадках другий і третій етапи перехідного процесу характеризуються зростанням витрати нафти до значення, що відповідає експлуатації нафтопроводу з додатковим працюючим насосом.
5. Загальна тривалість перехідного процесу в нафтопроводі при запусках і зупинках насосних агрегатів щодо змін витрати нафти становить 15-20 хв.
6. Запропонований метод, який дає можливість шляхом опрацювання диспетчерських даних про зміну витрати у часі на пунктах обліку нафти визначати усереднене за часом і довжиною значення витрати нафти в магістральних нафтопроводах за неусталених режимів експлуатації.

В подальшому на основі результатів промислових експериментів буде розроблено методику прогнозування зміни витрати у нафтопроводі при перехідних процесах як функцію завантаження нафтопроводу і режиму руху нафти.

### **Література:**

1. Середюк М.Д. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів / Й.В. Якимів, В.П. Лісафін: [підручник для ВНЗ]. - Івано-Франківськ. 2002. – 517 с.

2. Лурье М. В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа / М. В. Лурье. - М.: Нефть и газ, 2003. - 335 с.
3. Вязунов Е. В. Расчет быстропротекающих переходных процессов, возникающих после включения и отключения насосных агрегатов / Е. В. Вязунов // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. - М.: РНТС ВНИИОЭНГ. - 1974. - №11. - С. 26-29.
4. Середюк М. Д. Експериментальні дослідження перехідних процесів у магістральних нафтопроводах, спричинених зупинками насосних агрегатів / М. Д. Середюк, С. Я. Григорський // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2013. - № 2 (35). - С. 16-29.
5. Григорський С. Я. Результати експериментальних досліджень закономірностей гідродинамічних процесів у нафтопроводі за зміни кількості працюючих насосних агрегатів / С. Я. Григорський, М. Д. Середюк / Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2014. - № 1 (50). - С. 161-172.
6. Григорський С. Я. Дослідження впливу зупинок насосних агрегатів на режим роботи магістральних нафтопроводів / С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2014. - № 1 (36) - С. 92-102.
7. Григорський С. Я. Методика розрахунку гідродинамічних процесів, спричинених зупинками насосних агрегатів магістрального нафтопроводу / С. Я. Григорський, М. Д. Середюк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2014.-№ 4 (53). - С. 65-71.
8. Середюк М. Д. Закономерности изменения давления в нефтепроводах при остановках насосных агрегатов / М. Д. Середюк, С. Я. Григорский // Нефтяное хозяйство. - 2015. - № 2 - С. 100-104.
9. M. Serediuk, S. Grygorskiy i Experimental study of transient processes in oil pipeline caused by startups of pumping units/Eastern – European Journal of Enterprise Technologies. № 5/2 (83).2016.C. 30-36.