

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАФТОПРОВОДУ**

**Методичні вказівки  
до практичних занять з дисципліни  
«Моделювання технологічних процесів в нафтогазовій галузі»  
для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології»**

Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою НТУ «ХП»,  
протокол № 3 від 06.10.2021 р.

Харків  
НТУ «ХП»  
2021

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАФТОПРОВОДУ. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Моделювання технологічних процесів в нафтогазовій галузі» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / В. С. Білецький. – Харків : НТУ «ХП», 2021. – 7 с.

Укладач В. С. Білецький

Рецензент В. М. Орловський

Кафедра видобування нафти, газу та конденсату

## ПРАКТИЧНА РОБОТА 22

### АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАФТОПРОВОДУ

**Мета:** Розробка моделі визначення пропускної здатності ділянки нафтопроводу.

**Умови:** Для реалізації заданого режиму роботи потрібно знайти різницю між загальними втрати напору в трубопроводі та напору, що розвивають насоси нафтоперекачувальної станції (НПС). Якщо загальні втрати напору в трубопроводі перевищують напір, що розвивається насосами НПС, то реалізація заданого режиму перекачування є неможливою. Якщо загальні втрати напору в трубопроводі перевищують максимально припустимий напір, то реалізувати заданий режим перекачування також неможливо. Якщо різниця напору НПС і загальних втрат напору перевищує напір одного насоса  $H_0$ , то зменшуємо необхідне число послідовно працюючих насосів і повторюємо розрахунки.

**Моделювання:** Надлишок напору НПС, що підлягає регулюванню дорівнює:

$$H_{\text{резі}} = H_{\text{НСі}} - H_{\text{обі}} \quad (\text{П1})$$

де,  $H_{\text{НСі}}$  - напір нафти на виході останнього насосу, м (в групі послідовно працюючих);

$H_{\text{обі}}$  - загальні втрати напору на досліджуваній ділянці нафтопроводу, м.

Знаходимо напір нафти на виході останнього, в групі послідовно працюючих, насосів НПВ 3600-90 по формулі<sup>1</sup>  $H_n = 129 - 40 Q^2$  :

$$H_{\text{НСі}} = (129 + 3 \times 310) - (40 + 3 \times 78) \times 0,58333^2 = 965 \text{ м.}$$

Визначаємо загальні втрати напору на досліджуваній ділянці нафтопроводу:

$$H_{\text{обі}} = 1,02 H_{\text{Ті}} + \Delta z + H_{\text{к}}, \quad (\text{П2})$$

де,  $\Delta z$  - різниця геодезичних оцінок кінця і початку трубопроводу, 111м;

$H_{\text{к}}$  - прийнятий напір наприкінці ділянки трубопроводу, 40м;

$H_{\text{Ті}}$  - формула Дарсі-Вейсбаха, втрати напору на тертя, м.

За формулою Дарсі-Вейсбаха знаходимо втрати напору на тертя:

$$H_{\text{Ті}} = \lambda_i \frac{L W^2}{D 2g}, \quad (\text{П3})$$

де,  $\lambda_i$  - коефіцієнт гідравлічного опору;

$L$  – довжина ділянки нафтопроводу, 70000м;

$D$  – внутрішній діаметр ділянки нафтопроводу, 0,759м;

$W$  – середня швидкість руху нафти в трубопроводі, м/с;

$g$  – прискорення вільного падіння, 9,81м/с<sup>2</sup>.

Коефіцієнт гідравлічного опору розраховують за формулою Блазіуса:

$$\lambda_i = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (\text{П4})$$

де,  $Re$  – число Рейнольдса.

Значення числа Рейнольдса в нафтопроводі дорівнює:

$$Re = \frac{WD}{v_i}. \quad (\text{П5})$$

де,  $v_i$  – розрахункова в'язкість, 13,9 сСт.

---

<sup>1</sup> На основі рівняння напірної характеристики насоса

Розрахункову в'язкість визначаємо за формулою Рейнольдса – Філонова:

$$\nu_i = \nu_1 e^{-U(t_2 - t_1)}, \quad (\text{П6})$$

де,  $t_1, t_2$  – температура нафти в точці;  $U$  – коефіцієнт крутості віскограми, 1/град.  
Обчислимо коефіцієнт крутості віскограми за формулою:

$$U = \frac{1}{t_1 - t_2} \ln \frac{\nu_2}{\nu_1}, \quad (\text{П7})$$

де,  $t_1, t_2$  - значення температур, при яких відома в'язкість нафти;  
 $\nu_1, \nu_2$  - відповідні значення кінематичної в'язкості нафти, 13,9 сСт; 40,9 сСт.

Визначаємо середню швидкість руху нафти в трубопроводі:

$$W = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (\text{П8})$$

де,  $Q$  - секундна продуктивність ділянки нафтопроводу, 0,58333 м<sup>3</sup>/с.

### Розрахунок по розробленій моделі визначення пропускної здатності ділянки нафтопроводу

Для реалізації наведеного вище алгоритму розроблена стандартизована програма мовою **BASIC**. Це циклічна розгалужена програма, що забезпечує виконання всіх необхідних обчислень.

Отже, можемо розрахувати надлишок напору НПС.

Обчислимо коефіцієнт крутості віскограми за формулою П7:

$$U = \frac{1}{20 - 5,8} \ln \frac{40,9}{13,9} = 0,07600 \frac{1}{\text{град}}$$

Визначимо середню швидкість руху нафти в трубопроводі за формулою П8:

$$W = \frac{4 \times 0,58333}{\pi \times 0,759^2} = 1,28993 \text{ м / с.}$$

Розрахункову в'язкість визначаємо по формулі Рейнольдса-Філонова (П6):

$$\nu_i = 13,9 e^{-0,076(2,2 - 20)} = 53,76856 \text{ сСт}$$

Знаходимо значення числа Рейнольдса в нафтопроводі за формулою П5:

$$Re_i = \frac{1,28993 \times 0,759}{53,76856 \times 10^{-6}} = 18218.$$

Коефіцієнт гідравлічного опору визначений за формулою Блазіуса (П4):

$$\lambda_i = \frac{0,3164}{18218^{0,25}} = 0,02724$$

За формулою Дарсі-Вейсбаха знаходимо втрати напору на тертя (П3):

$$H_{\text{тi}} = 0,02724 \times \frac{70000 \times 1,28993^2}{0,759 \times 2 \times 9,81} = 213 \text{ м.}$$

За формулою (П2) визначаємо загальні втрати на досліджуваній ділянці нафтопроводу:

$$H_{обі} = 1,02 \times 213 + 111 + 40 = 368 \text{ м.}$$

У нашому випадку різниця напору НПС  $H_{НСі} = 965$  м і загальних втрат напору  $H_{обі} = 368$  м перевищує напір одного насоса  $H_0 = 283$  м, тому зменшуємо необхідне число послідовно працюючих насосів:  $r_i = 3 - 1 = 2$

Знаходимо напір нафти на виході останнього з групи послідовно працюючих насосів:

$$H_{НСі} = (129 + 2 \times 310) - (40 + 2 \times 78) \times 0,583332 = 682 \text{ м.}$$

У нашому випадку різниця напору НПС  $H_{НСі} = 682$  м і загальних втрат напору  $H_{обі} = 368$  м перевищує напір одного насоса  $H_0 = 283$  м, тому ще раз зменшуємо необхідне число послідовно працюючих насосів:  $r_i = 2 - 1 = 1$

Знаходимо напір нафти на виході останнього в групі послідовно працюючих насосів:

$$H_{НСі} = (129 + 1 \times 310) - (40 + 1 \times 78) \times 0,583332 = 399 \text{ м.}$$

Після визначення необхідного числа послідовно працюючих насосів знаходимо надлишок напору НПС, що підлягає регулюванню (формула П1):

$$H_{peri} = 399 - 368 = 31 \text{ м.}$$

### Аналіз результатів розрахунку пропускної здатності ділянки нафтопроводу з урахуванням сезонних змін параметрів перекачки нафти

У результаті розрахунків з'ясувалося, що загальні втрати напору в трубопроводі не перевищують напір, що розвивають насоси НПС, тобто  $H_{обі} < H_{НСі}$  ( $368 \text{ м} < 399 \text{ м}$ ), і реалізація заданого режиму перекачування є можливою, також загальні втрати напору в трубопроводі не перевищують максимально припустимий напір, тобто  $H_{обі} < H_{допi}$  ( $368 \text{ м} < 591 \text{ м}$ ).

Оскільки розрахунок вівся в найгірших умовах перекачування з найнижчою температурою для січня, то в результаті розрахунків з'ясовано, що для перекачування заданої витрати  $Q_2 = 2100 \text{ м}^3/\text{г}$  досить тільки одного магістрального насосу і для всіх наступних місяців.

Використовуючи програму **fpons11**, виконуємо гідравлічні розрахунки ділянки нафтопроводу „Кременчук-Пролетарська” при витраті нафти  $Q_2 = 2100 \text{ м}^3/\text{г}$ . Отримані результати оформляємо у вигляді технологічних карт режимів роботи досліджуваної ділянки нафтопроводу (Таблиця П1).

Таблиця П1. Технологічні карти режимів роботи досліджуваної ділянки нафтопроводу

Місяць	Розрахункова в'язкість нафти, $\nu, \text{сСт}$	Число послідовно працюючих насосів, $r$	Напір на виході насосів НПС, $H_{НС}, \text{м}$	Загальні втрати напору $H_{об}, \text{м}$	Тиск після регулятора $P_{ПР}, \text{МПа}$	Надлишок напору насосів НПС, $H_{рег}, \text{м}$
Січень	53,77	1	399	368	3,17	31

Лютий	49,08	1	399	363	3,12	36
Березень	37,90	1	399	350	3,00	49
Квітень	36,21	1	399	348	2,98	51
Травень	34,08	1	399	345	2,95	54
Червень	26,72	1	399	333	2,85	66
Липень	23,30	1	399	327	2,79	72
Серпень	21,93	1	399	325	2,77	74
Вересень	35,67	1	399	347	2,97	52
Жовтень	40,90	1	399	354	3,04	45
Листопад	46,18	1	399	360	3,10	39
Грудень	52,16	1	399	366	3,15	32

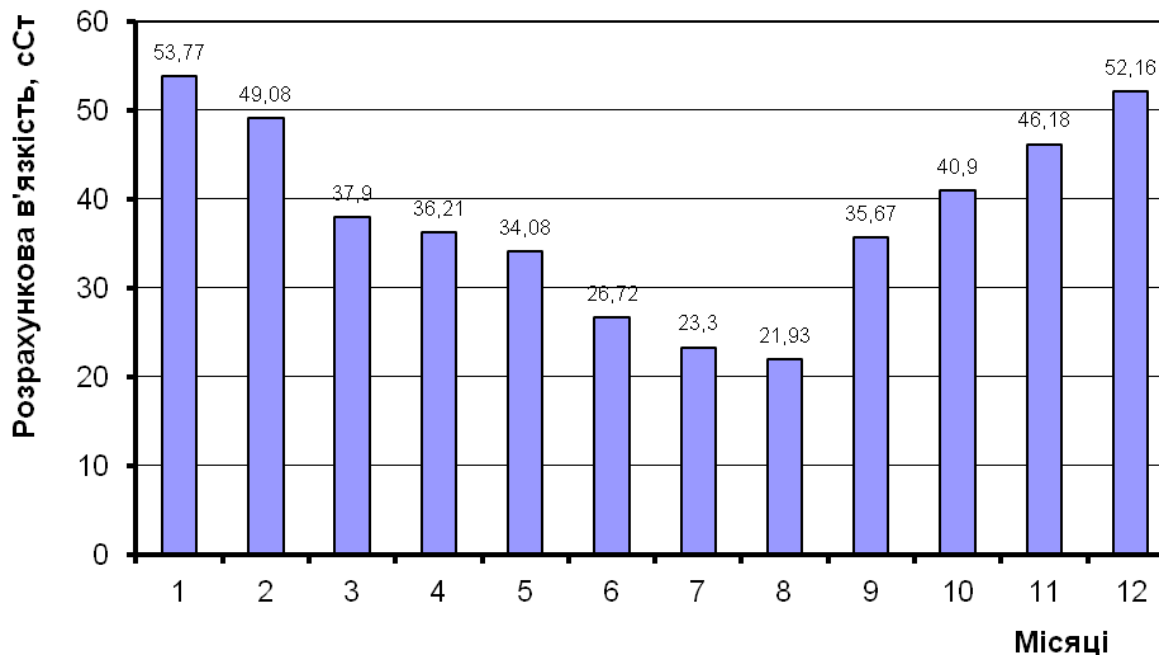


Рисунок П1 - Зміна розрахункової в'язкості нафти протягом року

Навчальне видання

## **АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАФТОПРОВОДУ**

**Методичні вказівки**  
**до практичних занять з дисципліни**  
**«Моделювання технологічних процесів в нафтогазовій галузі»**  
**для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології»**

Укладач  
БІЛЕЦЬКИЙ Володимир Стефанович

Відповідальний за випуск проф. Фик І.М.  
Роботу рекомендував до друку проф. Циганков О.В.  
В авторській редакції

План 2021 р., поз. 314

Підп. до друку 07.10.2021 р.  
Гарнітура Times New Roman.

---

Видавничий центр НТУ «ХП».  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.  
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

---