

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВОДІВ З УРАХУВАННЯМ ГІДРАВЛІЧНОГО ОПОРУ САМОПЛИВНИХ ДІЛЯНОК

С.Я. Григорський, М.Д. Середюк

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 727139,  
e-mail: tzn g @ p u n g . e d u . u a

*Розроблена методика аналітичного розрахунку пропускної здатності магістрального нафтопроводу з урахуванням наявності самопливних ділянок. Методика базується на класичних гідродинамічних рівняннях, враховує особливості безнапірного руху нафти в трубопроводі та пружність парів нафти за температури перекачування. Створено комп'ютерну програму, яка дає можливість для довільного нафтопроводу провести розрахунки пропускної здатності, розподілу тиску, параметрів роботи самопливних ділянок, побудувати фактичну лінію гідравлічного нахилу та скласти матеріальний баланс нафти в трубопроводі.*

*Виконано апробацію методики на прикладі розрахунку пропускної здатності експлуатаційної ділянки вітчизняного нафтопроводу із самопливними ділянками. Встановлено, що сумарну довжину самопливних ділянок можна описати лінійною функцією, а сумарний об'єм нафти у порожнині трубопроводу – поліномом другого степеня залежно від пропускної здатності нафтопроводу. Визначено продуктивність нафтопроводу, за якої досягається мінімальний об'єм нафти на самопливних ділянках.*

**Ключові слова:** перевальна точка, самопливна ділянка, пропускна здатність, ступінь заповнення перерізу труби, гідравлічний нахил, безнапірний потік рідини, аналітичний метод.

*Разработана методика аналитического расчета пропускной способности магистрального нефтепровода с учетом наличия самотечных участков. Методика базируется на классических гидродинамических уравнениях, учитывает особенности безнапорного движения в трубопроводе и упругость паров нефти при температуре перекачки. Создана компьютерная программа, позволяющая для произвольного нефтепровода провести расчеты пропускной способности, распределения давления, параметров работы самотечных участков, построит фактическую линию гидравлического уклона и составит материальный баланс нефти в трубопроводе.*

*Выполнена апробация методики на примере расчета пропускной способности эксплуатационного участка отечественного нефтепровода из самотечными участками. Получено, что суммарную протяженность самотечных участков можно описать линейной функцией, а суммарный объем нефти в полости трубопровода – полиномом второй степени в зависимости от пропускной способности нефтепровода. Определена производительность нефтепровода, при которой объем нефти на самотечных участках будет минимальным.*

**Ключевые слова:** перевальная точка, самотечный участок, пропускная способность, степень заполнения сечения трубы, гидравлический уклон, безнапорный поток жидкости, аналитический метод.

*The article describes the technique of analytical calculation of oil trunk pipeline capacity with the account of the gravity areas. The technique is based on the classical hydrodynamic equations and it takes into account the free-flow movement of oil in the pipeline and the elasticity of oil vapors at the pumping temperature. The computer program, which enables to calculate the capacity, pressure distribution in any pipeline, parameters of gravity areas, build the actual line of hydraulic slope, and make the material balance of oil in the pipeline, was developed.*

*The methodology testing was completed on the example of calculation of operational area capacity of domestic pipeline with gravity areas. It was found out that the total length of the gravity area can be described by the linear function and the total volume of oil in the cavity of the pipeline – by the second order polynomial depending on the capacity of the pipeline. The pipeline performance, at which the minimum amount of oil is achieved in the gravity areas, was also determined.*

**Keywords:** transshipment point, free-flow area, capacity, fill level of the pipeline cross section, hydraulic slope, free-flow fluid, analytical method.

У процесі експлуатації магістральних нафтопроводів, що мають пересічений профіль траси, нерідко формуються ділянки з безнапірним рухом транспортованої рідини. Ці ділянки називають самопливними ділянками. У порожнині трубопроводу у межах самопливних ділянок транспортований продукт рухається неповним перерізом під дією сили тяжіння [1,2].

Гідродинамічні процеси, що супроводжують рух нафти на самопливних ділянках нафтопроводів, мають ряд особливостей і вимагають додаткових досліджень. На сьогодні розроблені здебільшого графічні методи визначення

кількості, місця положення та довжини самопливних ділянок [1,2]. Такі методи незручні, недостатньо точні і не можуть бути закладені у сучасні алгоритми комп'ютерних розрахунків режимів роботи трубопроводів [3].

У роботі [3] нами запропонована методика, яка дає змогу для довільного профілю траси трубопроводу аналітичним шляхом визначити кількість і положення самопливних ділянок, знайти їх довжину та ступінь заповнення перерізу трубопроводу транспортованим продуктом. Методика базується на класичних гідродинамічних рівняннях і враховує особливості

безнапірного руху рідини в трубопроводі. Зазначена методика передбачає, що витрата нафти в нафтопроводі є відомою величиною.

У процесі експлуатації магістрального нафтопроводу робоча витрата нафти визначається шляхом розв'язування рівняння балансу напорів (тисків), що включає характеристики насосних агрегатів НПС і лінійної частини трубопроводу з урахуванням чинних обмежень технологічних параметрів. Для рельєфних нафтопроводів робоча витрата нафти і параметри самопливних ділянок взаємозв'язані між собою, що ускладнює їх знаходження і вимагає застосування методу послідовних наближень.

**Мета і задачі досліджень.** Метою роботи є розробка методики розрахунку пропускної здатності магістральних нафтопроводів з урахуванням гідравлічного опору самопливних ділянок.

У процесі досліджень вирішувались такі задачі:

1) виявлення взаємозв'язку між положенням перевальної точки на трасі нафтопроводу і величини пропускної здатності магістрального нафтопроводу;

2) розробка аналітичного методу та оригінального програмного забезпечення для виявлення місця розташування перевальної точки, розрахунку пропускної здатності та розподілу тиску по довжині магістрального нафтопроводу з урахуванням роботи самопливних ділянок;

3) апробація розробленої методики на прикладі однієї з експлуатаційних ділянок вітчизняного нафтопроводу із самопливними ділянками;

4) дослідження динаміки зміни пропускної здатності, об'єму нафти на самопливних ділянках та параметрів їх роботи з урахуванням сезонних змін умов перекачування та схеми роботи насосних агрегатів на нафтоперекачувальних станціях (НПС) для ділянки вітчизняного нафтопроводу.

**Об'єкт дослідження** – рельєфні магістральні нафтопроводи із самопливними ділянками.

**Предмет дослідження** – гідродинамічні процеси на напірних і безнапірних ділянках рельєфних магістральних нафтопроводів.

**Методи дослідження** – математичне моделювання параметрів роботи магістральних нафтопроводів із самопливними ділянками з використанням комп'ютерних технологій.

Нижче пропонується виключно аналітичний метод визначення пропускної здатності магістральних нафтопроводів з урахуванням особливостей гідродинамічних процесів руху нафти на безнапірних самопливних ділянках. Метод базується на застосуванні розробленого нами у роботі [3] способу визначення кількості самопливних ділянок, місця їх знаходження на трасі нафтопроводу, а також ступеня заповнення перерізу трубопроводу нафтою. Вихідні дані для реалізації зазначеного методу такі:

- внутрішній діаметр трубопроводу  $D$ ;
- довжина нафтопроводу  $L$ ;
- абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні труби  $k_e$ ;
- масив довжин висхідних та низхідних ділянок трубопроводу згідно із профілем траси  $l_i$ ;
- масив геодезичних позначок початку і кінця висхідних та низхідних ділянок трубопроводу  $z_i$ ;
- розрахункова густина транспортованого продукту  $\rho$ ;
- розрахункова кінематична в'язкість транспортованого продукту  $\nu$ ;
- пружність насичених парів транспортованого продукту за температури перекачування  $P_{np}$ ;
- масив коефіцієнтів математичних моделей напірних характеристик підпірних  $a_{n_i}, b_{n_i}$  та магістральних насосів ГНПС  $a_i, b_i$ ;
- технологічно необхідний напір нафти у кінці нафтопроводу  $H_k$ .

На першому етапі розрахунків пропускну здатність нафтопроводу визначають так, як для рівнинного нафтопроводу – із рівняння балансу напорів методом послідовних наближень.

У методі, що пропонується, урахуовуючи практичний досвід трубопровідного транспорту нафти, всі значення напору відповідають надлишковому тиску.

Позначають індексом  $j$  параметри довільної ділянки профілю траси нафтопроводу. Приймають перше наближення витрати нафти у нафтопроводі  $Q_1$ . Визначають напір, створений насосами ГНПС за прийнятої витрати нафти:

$$H_{гнпс1} = A - BQ_1^2, \quad (1)$$

де  $A, B$  – коефіцієнти математичної моделі сумарної напірної характеристики насосів ГНПС, які залежать від кількості і типу послідовно працюючих насосів.

Порівнюють між собою напір ГНПС  $H_{гнпс1}$  і максимально допустимий напір із умови міцності труби  $H_{дон}$ . За виконання умови

$$H_{гнпс1} \leq H_{дон}, \quad (2)$$

приймають, що напір нафти на початку нафтопроводу дорівнює

$$H_{n1} \leq H_{гнпс1}, \quad (3)$$

інакше

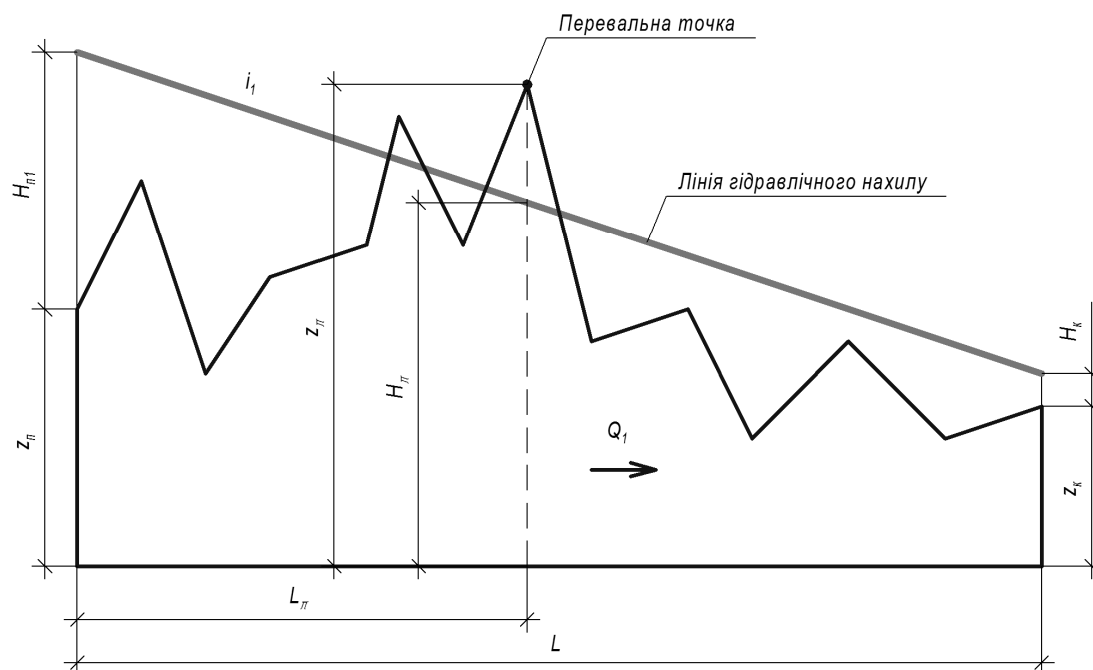
$$H_{n1} \leq H_{дон}. \quad (4)$$

Знаходять загальні втрати напору в нафтопроводі без урахування впливу самопливних ділянок

$$H_{заг1} = 1,02 \cdot i_1 \cdot L + (z_k - z_n) + H_k, \quad (5)$$

де  $i_1$  – гідравлічний нахил у нафтопроводі за прийнятого значення витрати нафти;

$z_k, z_n$  – геодезична позначка кінця і початку нафтопроводу, відповідно.



**Рисунок 1 – Профіль траси рельєфного магістрального нафтопроводу із лінією гідравлічного нахилу, побудованою для рівнинного нафтопроводу**

При обчисленні гідравлічного нахилу в нафтопроводі  $i_1$ , коефіцієнт гідравлічного опору  $\lambda$  визначають за модифікованою формулою Колбрука, як це показано у роботі [4].

Якщо виконується умова

$$|H_{n1} - H_{заг1}| \leq \varepsilon, \quad (6)$$

де  $\varepsilon$  – задана точність розрахунку напорів, то це свідчить про визначення методом ітерацій пропускної здатності нафтопроводу  $Q_1$  без урахування впливу самопливних ділянок.

Якщо умова (6) не виконується і при цьому маємо

$$H_{n1} > H_{заг1}, \quad (7)$$

то збільшують витрату нафти в нафтопроводі з кроком  $\Delta Q$

$$Q_1 = Q_1 + \Delta Q, \quad (8)$$

а у випадку

$$H_{n1} < H_{заг1}, \quad (9)$$

зменшують витрату нафти в нафтопроводі з кроком  $\Delta Q$

$$Q_1 = Q_1 - \Delta Q. \quad (10)$$

Визначене описаним вище способом значення пропускної здатності нафтопроводу не є остаточним, воно не урахує особливості профілю траси. Для рельєфного нафтопроводу за знайденої витрати нафти  $Q_1$  лінія гідравлічного нахилу може перетинати профіль траси (рисунок 1), що є неприпустимим.

Тому наступним етапом розрахунків є дослідження взаємного розміщення лінії гідравлічного нахилу за витрати  $Q_1$  і профілю траси нафтопроводу. Для кожної точки траси нафтопроводу визначають зведений гідравлічний напір за формулою

$$H_j = z_n + H_{n1} - i_1 \cdot l_{x_j}, \quad (11)$$

де  $l_{x_j}$  – довжина нафтопроводу від його початку до кінця  $j$ -ої ділянки

$$l_{x_j} = \sum_{k=1}^j l_j. \quad (12)$$

Далі знаходяться такі точки профілю траси для яких виконується умова

$$H_j < z_j. \quad (13)$$

Визначається геодезична позначка перевальної точки, від якої нафта самопливом поступає до кінцевого пункту нафтопроводу за розрахункової продуктивності

$$z_\pi = \max_{i=1..m} \{z_i\}, \quad (14)$$

де  $m$  – масив точок профілю траси, для яких виконується умова (13).

Далі визначається зведений гідравлічний напір на можливій перевальній точці

$$H_\pi = z_n + H_{n1} - 1,02 \cdot i_1 \cdot L_\pi, \quad (15)$$

$L_\pi$  – відстань від початку нафтопроводу до можливої перевальної точки (розрахункова довжина нафтопроводу).

За виконання умови

$$H_\pi < z_\pi, \quad (16)$$

точка буде перевальною для раніше знайденого значення витрати нафти в нафтопроводі  $Q_1$ . В іншому випадку самопливні ділянки для заданого режиму роботи нафтопроводу відсутні.

Після знаходження положення перевальної точки потрібно скоригувати значення пропускної здатності нафтопроводу. Для цього необхідно, використовуючи формули (1)-(10), реалізувати метод послідовних наближень і визна-

Таблиця 1 – Технічна характеристика насосних агрегатів НПС експлуатаційної ділянки вітчизняного нафтопроводу

Насосна	№ агрегату	Тип	Тип ротора, діаметр до обточування, мм	Діаметр та ширина робочого колеса, мм	Обертлова частота, об/хв
Підпірна насосна	1	20НДсН	базовий, 740	740/100	990
	2	20НДсН	базовий, 740	740/100	990
	3	20НДсН	базовий, 740	740/100	990
Магістральна насосна	1	НМ 3600-230	змінний 0,7, 430	430/95	2973
	2	НМ 3600-230	базовий, 450	450/93	2973
	3	НМ 3600-230	змінний 0,7, 430	430/95	2973
	4	НМ 3600-230	базовий, 450	450/93	2973

чити за якої витрати нафти  $Q_2$  виконується умова

$$|H_{n2} - H_{заг2}| \leq \varepsilon, \quad (17)$$

де

$$H_{заг2} = 1,02 \cdot i_2 \cdot L_{\pi} + (z_{\pi} - z_n) + (H_{np} - H_{\delta}), \quad (18)$$

$H_{заг2}$  – загальні втрати напору за прийнятої витрати нафти  $Q_2$  на розрахунковій довжині нафтопроводу;

$i_2$  – гідравлічний нахил у нафтопроводі за прийнятої витрати нафти з урахуванням наявності перевальної точки;

$H_{np}$  – напір, що відповідає пружності насиченої пари нафти за температури перекачування,

$$H_{np} = \frac{P_{np}}{\rho g}, \quad (19)$$

$g$  – прискорення сили тяжіння;

$H_{\delta}$  – напір, що відповідає атмосферному тиску.

Для підтвердження того, що знайдене значення витрати нафти  $Q_2$  є пропускною здатністю нафтопроводу з урахуванням наявності перевальної точки, необхідно пересвідчитися, що різниця геодезичних позначок перевальної і кінцевої точок не менша за загальні втрати напору на відповідній частині довжини трубопроводу. Необхідним є виконання такої умови

$$H_{руш} > H_{заг3}, \quad (20)$$

де  $H_{руш}$  – рушійна різниця напорів,

$$H_{руш} = z_{\pi} - z_{\kappa}, \quad (21)$$

$H_{заг3}$  – загальні втрати напору на ділянці від перевальної точки до кінця трубопроводу з урахуванням технологічно необхідного кінцевого напору

$$H_{заг3} = 1,02 \cdot i_2 \cdot (L - L_{\pi}) + H_{\kappa}. \quad (22)$$

За виконання умови (20) задача вирішена – знайдено пропускну здатність нафтопроводу з урахуванням наявності перевальної точки та ділянок із самопливним рухом нафти.

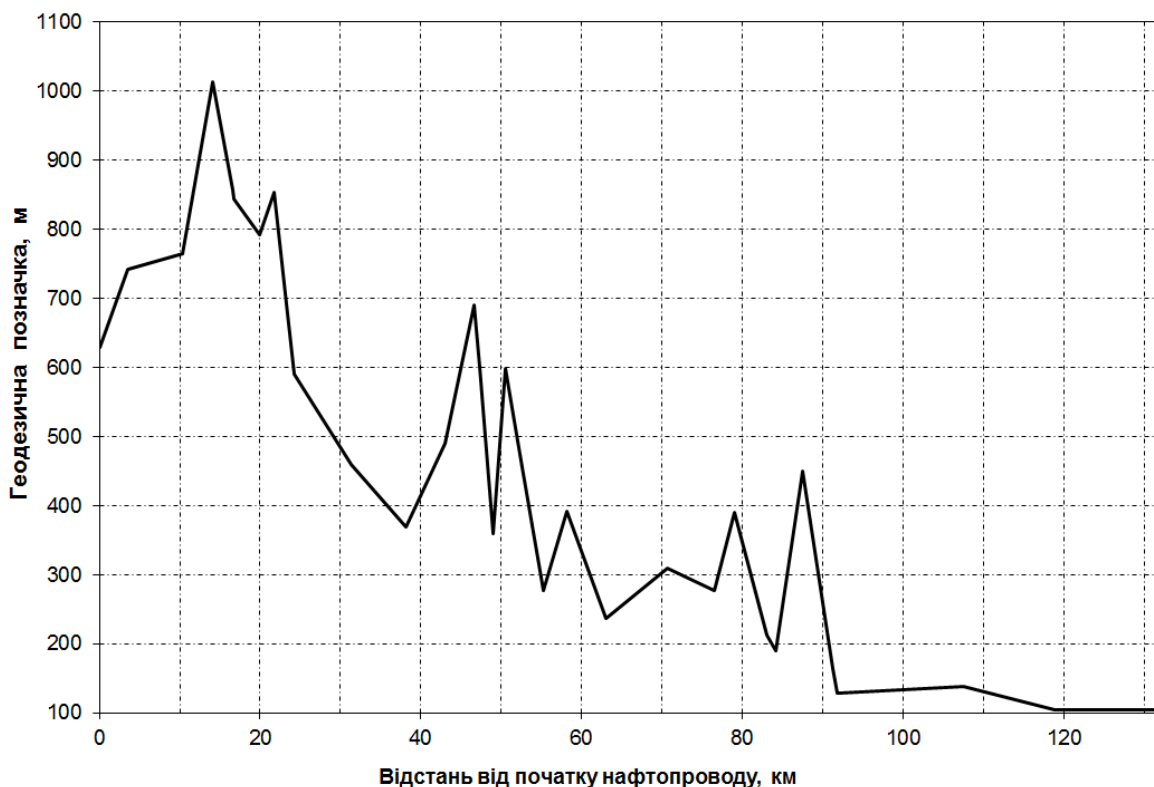
Після цього за методикою, що розроблена нами у роботі [3], знаючи робочу витрату нафти, можна визначити кількість самопливних діля-

нок, координати їх розташування на трасі нафтопроводу, ступінь заповнення перерізу трубопроводу транспортованою нафтою. Це дасть змогу для кожного моменту експлуатації нафтопроводу скласти матеріальний баланс нафти.

За наведеним вище алгоритмом розроблено програмне забезпечення RozSd на мові Visual Basic із застосуванням електронних таблиць Microsoft Office Excel. Програма дає змогу розрахувати пропускну здатність будь-якого рельєфного магістрального нафтопроводу із довільною кількістю НПС, визначити положення та розрахувати основні параметри роботи самопливних ділянок з урахуванням пружності насичених парів нафти. Також за допомогою програми RozSd обчислюється об'єм нафти, що знаходиться на самопливних ділянках трубопроводу для заданої схеми його роботи та фізичних властивостей транспортованої нафти.

Проведемо апробацію запропонованої методики на одній із експлуатаційних ділянок вітчизняного нафтопроводу із самопливними ділянками. На трасі нафтопроводу внутрішнім діаметром 0,702 м, довжиною 132,3 км розміщена одна НПС, технічна характеристика насосних агрегатів якої наведена в таблиці 1. Профіль траси нафтопроводу зображено на рисунку 2. Виконаємо розрахунок пропускної здатності даної ділянки нафтопроводу за таких вихідних даних:

- розрахункова густина транспортованого продукту  $\rho = 870 \text{ кг/м}^3$ ;
- розрахункова кінематична в'язкість транспортованого продукту  $\nu = 25 \text{ сСт}$ ;
- уставка системи автоматичного регулювання тиску (САР)  $P_{дон} = 3,70 \text{ МПа}$ ;
- пружність насичених парів нафти за температури перекачування  $P_{np} = 0,03 \text{ МПа}$ ;
- технологічно необхідний тиск нафти у кінці трубопроводу  $P_{\kappa} = 0,2 \text{ МПа}$ ;
- схема роботи насосних агрегатів 1п,2 (перший підпірний та другий магістральний насос);
- коефіцієнти математичної моделі НПС (за прийнятої схеми роботи насосних агрегатів)  $A = 392 \text{ м}$ ,  $B = 91 \text{ с}^2/\text{м}^5$ ;
- величина атмосферного тиску 720 мм рт. ст.



Рисунк 2 – Профіль траси експлуатаційної ділянки вітчизняного нафтопроводу із самопливними ділянками

Таблиця 2 – Результати розрахунку параметрів роботи самопливних ділянок за схеми роботи насосних агрегатів 1п,2

Номер ділянки	Координата самопливної ділянки, км		Геодезична позначка самопливної ділянки, м		Довжина самопливної ділянки, км	Центральний кут заповнення перерізу, град	Ступінь заповнення перерізу трубопроводу нафтою, %	Об'єм нафти на самопливній ділянці, м <sup>3</sup>
	початкова	кінцева	початкова	кінцева				
1	14,10	16,60	1014,0	856,6	2,50	103,7	13,4	129,2
2	21,80	23,13	853,0	707,4	1,33	95,8	10,8	55,4
3	46,70	47,33	691,0	600,2	0,63	92,1	9,7	23,7
4	50,50	52,31	598,0	474,5	1,81	102,5	12,9	90,5
5	87,50	91,31	450,0	164,7	3,81	101,1	12,4	184,0
$L_{\text{сум}} =$					10,08		$V_{\text{сум}} =$	482,8

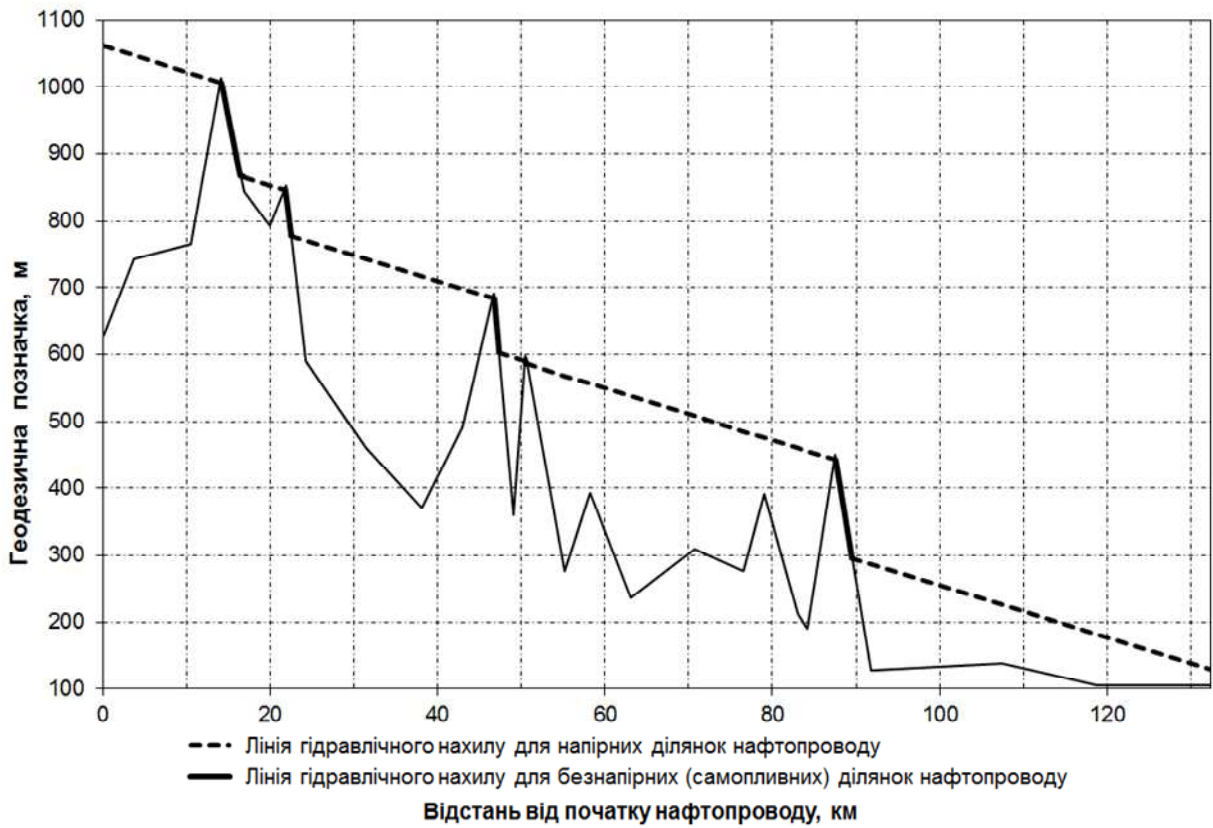
За результатами розрахунку за програмою RozSd пропускна здатність нафтопроводу без урахування самопливних ділянок складає 2088 м<sup>3</sup>/год, з урахуванням самопливних ділянок – 817 м<sup>3</sup>/год. Перевальна точка знаходиться на відстані 14,1 км від НПС, її геодезична позначка 1014 м. Для заданого режиму роботи нафтопроводу працює з п'ятьма самопливними ділянками. Сумарний об'єм нафти, що знаходиться на ділянках з безнапірним рухом 483 м<sup>3</sup>. Результати розрахунку параметрів роботи самопливних ділянок наведено в таблиці 2. Лінію гідралічного нахилу та графік розподілу тиску по довжині нафтопроводу наведено на рисунках 3 і 4 відповідно. Ступінь заповнення перерізу безнапірних ділянок нафтою змінюється від 10 до 13 %.

Перевіримо чи знайдене значення витрати нафти 817 м<sup>3</sup>/год є пропускною здатністю нафтопроводу з урахуванням наявності перевальної точки. Визначаємо рушійний напір за формулою (20)

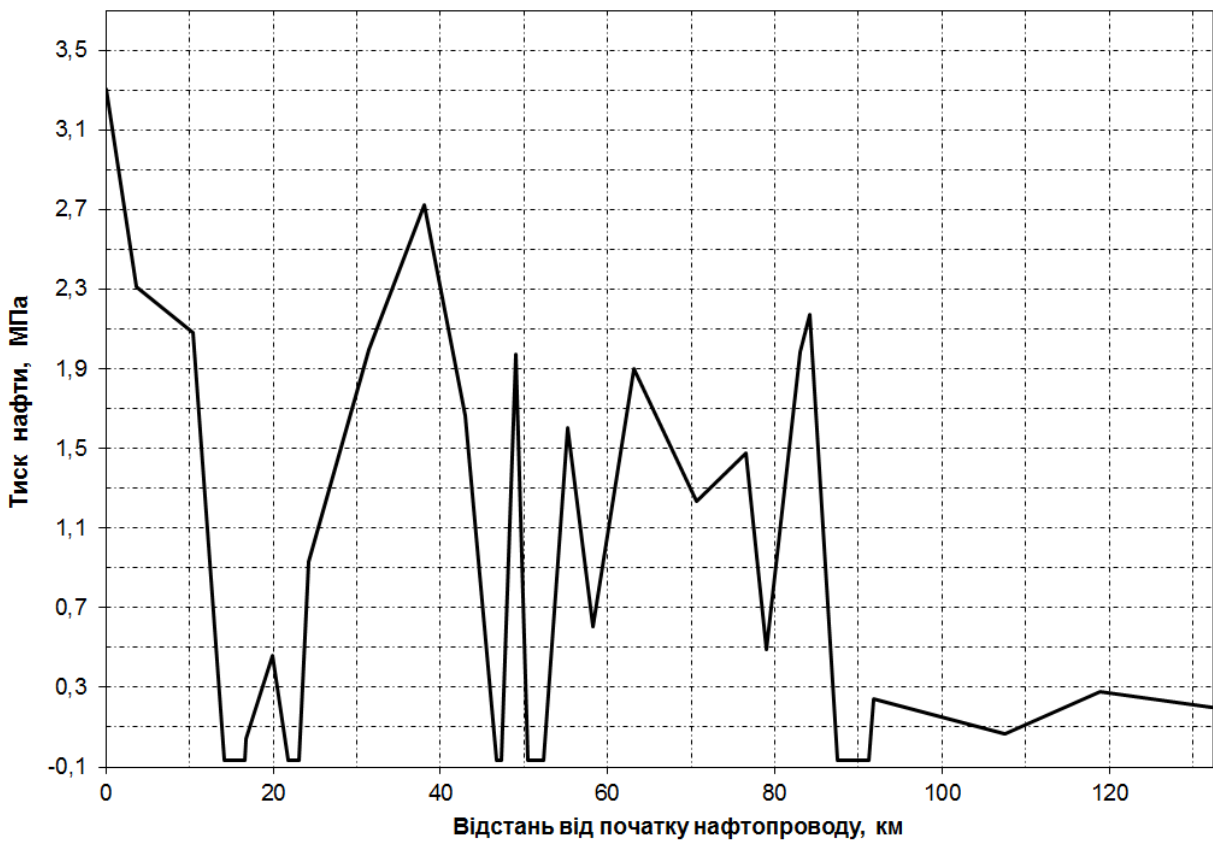
$$H_{\text{руш}} = 1014 - 105 = 909 \text{ м,}$$

та загальні втрати напору на ділянці від перевальної точки до кінця трубопроводу з урахуванням технологічно необхідного кінцевого напору ( $i_2 = 0,697 \cdot 10^{-3}$ )

$$H_{\text{заг3}} = 1,02 \cdot 0,697 \cdot 10^{-3} \cdot (132,3 - 14,1) \cdot 10^3 + \frac{0,2 \cdot 10^6}{870 \cdot 9,81} = 107 \text{ м.}$$



**Рисунок 3 – Лінія гідравлічного нахилу магістрального нафтопроводу для схеми роботи насосних агрегатів на НПС 1п,2**



**Рисунок 4 – Графік розподілу тиску по довжині магістрального нафтопроводу для схеми роботи насосних агрегатів на НПС 1п,2**

Таблиця 3 – Результати розрахунку параметрів роботи самопливних ділянок за схеми роботи насосних агрегатів 1п,1,2

Номер ділянки	Координата самопливної ділянки, км		Геодезична позначка самопливної ділянки, м		Довжина самопливної ділянки, км	Центральний кут заповнення перерізу, град	Ступінь заповнення перерізу трубопроводу нафтою, %	Об'єм нафти на самопливній ділянці, м <sup>3</sup>		
	початкова	кінцева	початкова	кінцева						
1	14,10	16,32	1014,0	874,4	2,22	136,9	27,2	233,0		
2	21,80	22,41	853,0	785,9	0,61	125,6	21,9	51,9		
3	46,70	47,26	691,0	610,6	0,56	120,5	19,8	42,8		
4	50,50	50,55	598,0	594,4	0,05	135,1	26,3	5,4		
5	87,50	89,45	450,0	303,6	1,96	133,2	25,4	192,1		
					$L_{\text{сум}} =$	5,40			$L_{\text{сум}} =$	525,2

Умова (20) по забезпеченню необхідної рушійної різниці напору виконується.

Проведемо аналогічний розрахунок для схеми роботи насосних агрегатів на НПС 1п,1,2. За результатами розрахунку програми RozSd пропускна здатність нафтопроводу без урахування самопливних ділянок складає 3061 м<sup>3</sup>/год, з урахуванням самопливних ділянок – 2188 м<sup>3</sup>/год. Нафтопровід працює з п'ятьма самопливними ділянками. Сумарний об'єм нафти, що знаходиться на самопливних ділянках становить 525 м<sup>3</sup>. Результати розрахунку параметрів роботи самопливних ділянок наведено в таблиці 3. Лінію гідравлічного нахилу та графік розподілу тиску по довжині нафтопроводу наведено на рисунках 5 і 6 відповідно. Ступінь заповнення перерізу самопливних ділянок нафтою змінюється від 20 до 27 %.

Проведемо дослідження пропускної здатності та параметрів роботи самопливних ділянок нафтопроводу із урахуванням сезонних змін умов транспортування для основних схем роботи насосів на НПС – 1п,2 та 1п,1,2. Розрахунки виконуємо для температури перекачування нафти  $t$  в діапазоні від 0 до 30 °С, густини нафти за температури 20 °С – 870 кг/м<sup>3</sup>. Для розрахунку кінематичної в'язкості нафти від температури використовуємо залежність, яка одержана за результатами обробки експериментальних даних, що надані хімічною лабораторією НПС нафтопроводу

$$\nu = 39,48 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-4,086 \cdot 10^{-2} \cdot t), \quad \text{м}^2/\text{с}.$$

Графічні залежності сумарної довжини самопливних ділянок та сумарного об'єму нафти на самопливних ділянках від пропускної здатності нафтопроводу наведені на рисунках 7-10 для схем роботи насосів 1п,2 та 1п,1,2 відповідно.

Як видно з рисунків 7 та 9 довжина самопливної ділянки (км) від продуктивності нафтопроводу (м<sup>3</sup>/год) із високим ступенем достовірності ( $k_d > 0,99$ ) описується лінійною залежністю:

- для схеми роботи насосних агрегатів 1п,2

$$L_s = 8,56 \cdot 10^{-4} \cdot Q + 9,39, \quad k_d = 0,9988;$$

- для схеми роботи насосних агрегатів 1п,1,2

$$L_s = -1,91 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 9,99, \quad k_d = 0,9993.$$

За роботи одного магістрального насоса сумарна довжина самопливних ділянок нафтопроводу збільшується зі збільшенням продуктивності, а сумарний об'єм нафти спочатку зменшується, а потім збільшується. При цьому мінімальний об'єм нафти на всіх самопливних ділянках становить 482 м<sup>3</sup> за витрати нафти 800 м<sup>3</sup>/год (температура перекачування 7 °С).

За послідовної роботи двох насосних агрегатів зі збільшенням продуктивності зменшується сумарна довжина самопливних ділянок, що пояснюється збільшенням крутизни лінії гідравлічного нахилу. Об'єм нафти, що знаходиться на безнапірних ділянках також зменшується при збільшенні витрати нафти в трубопроводі.

### Висновки

1. Розроблена методика дає можливість виключно аналітичним шляхом визначити пропускну здатність магістрального нафтопроводу із урахуванням гідравлічного опору самопливних ділянок, розподіл тиску по довжині трубопроводу, кількість та параметри роботи самопливних ділянок. При цьому враховується фактична пружність насичених парів нафти за температури перекачування.

2. Алгоритм розрахунку пропускної здатності використаний для розроблення оригінального програмного забезпечення, яке дає змогу оперативно отримувати інформацію про режимні та енергетичні параметри роботи нафтопроводу за будь-якої схеми роботи насосних агрегатів на НПС та лінійної частини трубопроводу.

3. В будь-який момент експлуатації нафтопроводу знаючи витрату нафти, кількість та положення самопливних ділянок, можна визначити кількість нафти в трубопроводі.

Наступним етапом буде дослідження роботи вітчизняного нафтопроводу із самопливними ділянками для всіх можливих схем роботи насосних агрегатів на НПС та розроблення рекомендацій щодо оптимальних режимів його роботи.

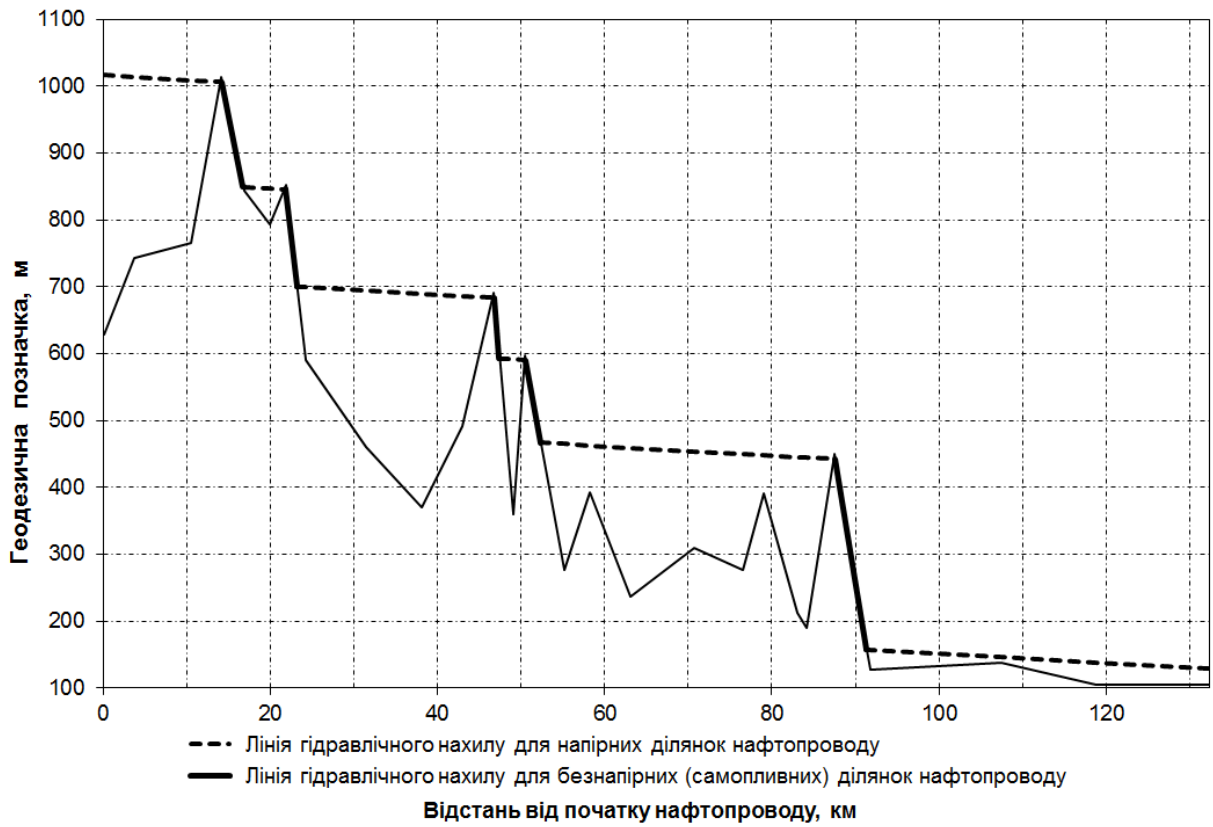


Рисунок 5 – Лінія гідравлічного нахилу магістрального нафтопроводу для схеми роботи насосних агрегатів на НПС 1п,1,2

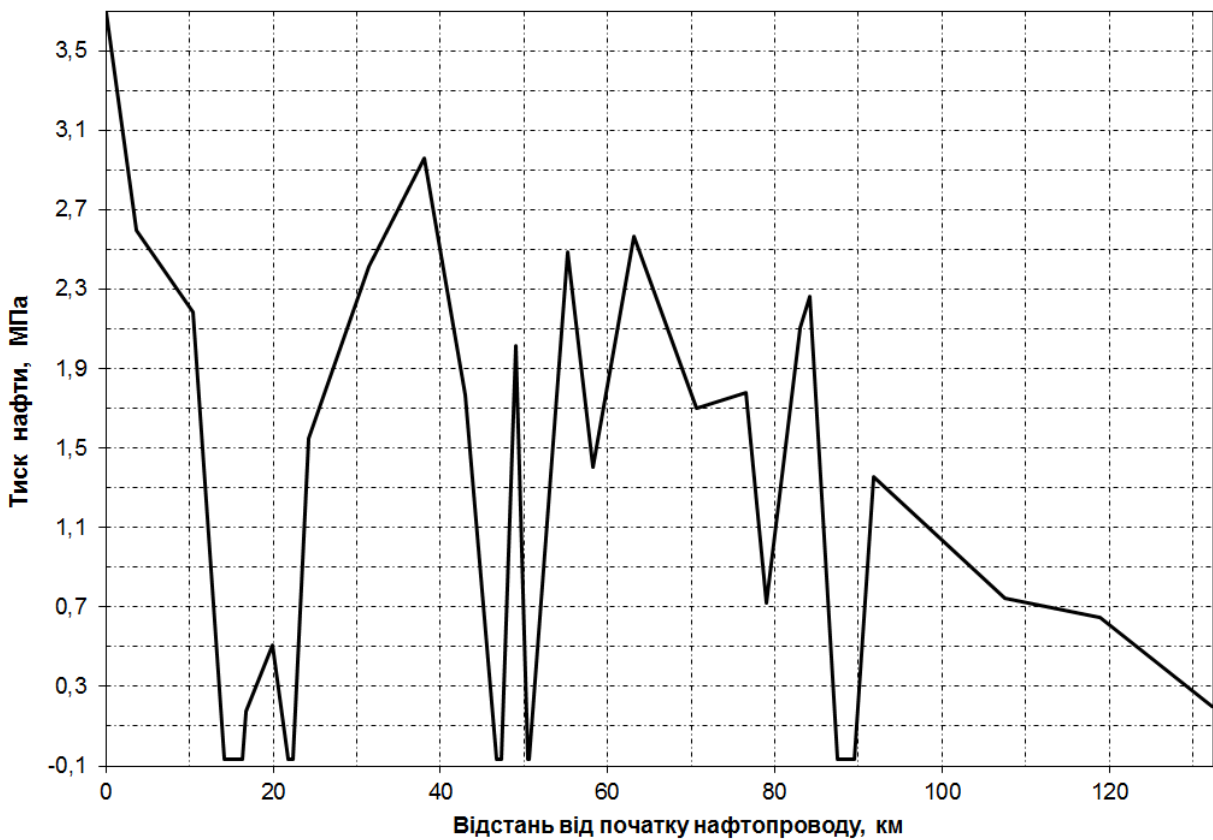


Рисунок 6 – Графік розподілу тиску по довжині магістрального нафтопроводу для схеми роботи насосних агрегатів на НПС 1п,1,2



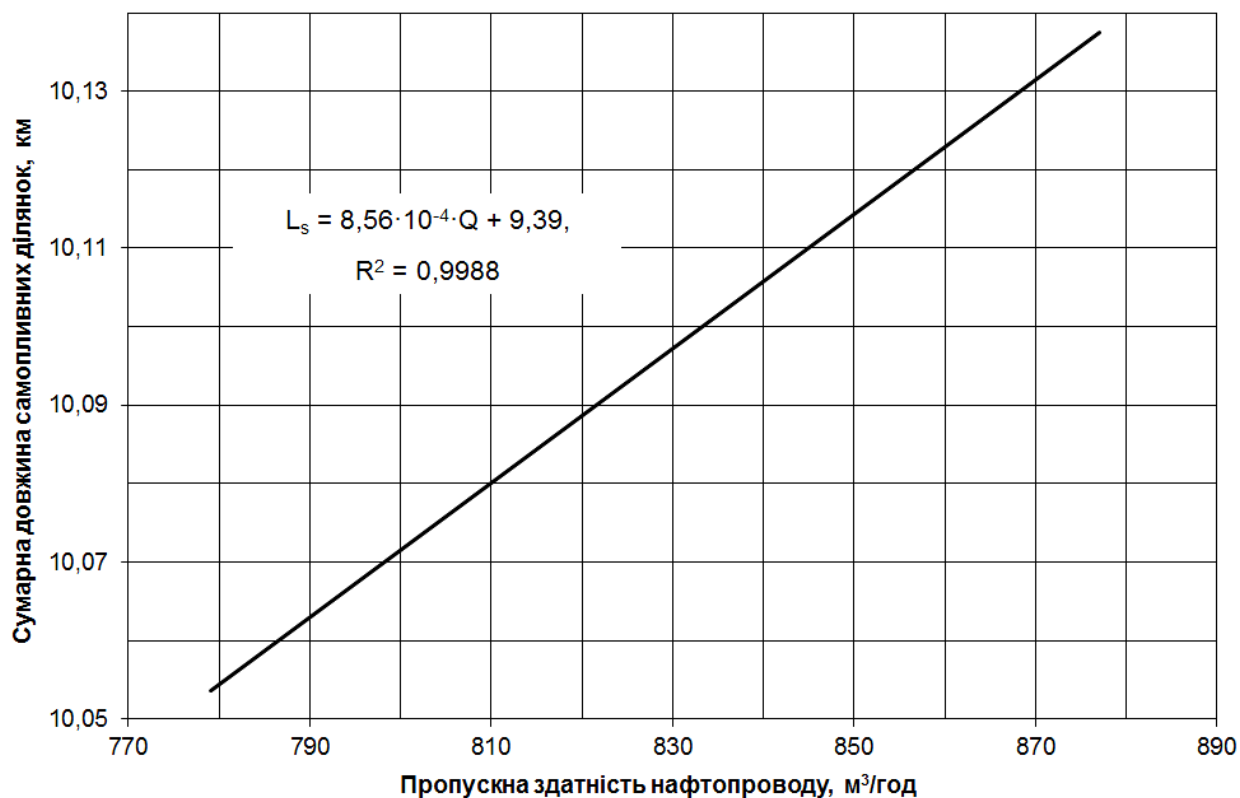


Рисунок 7 – Динаміка зміни сумарної довжини самопливних ділянок від пропускної здатності нафтопроводу для схеми роботи насосних агрегатів 1п,2

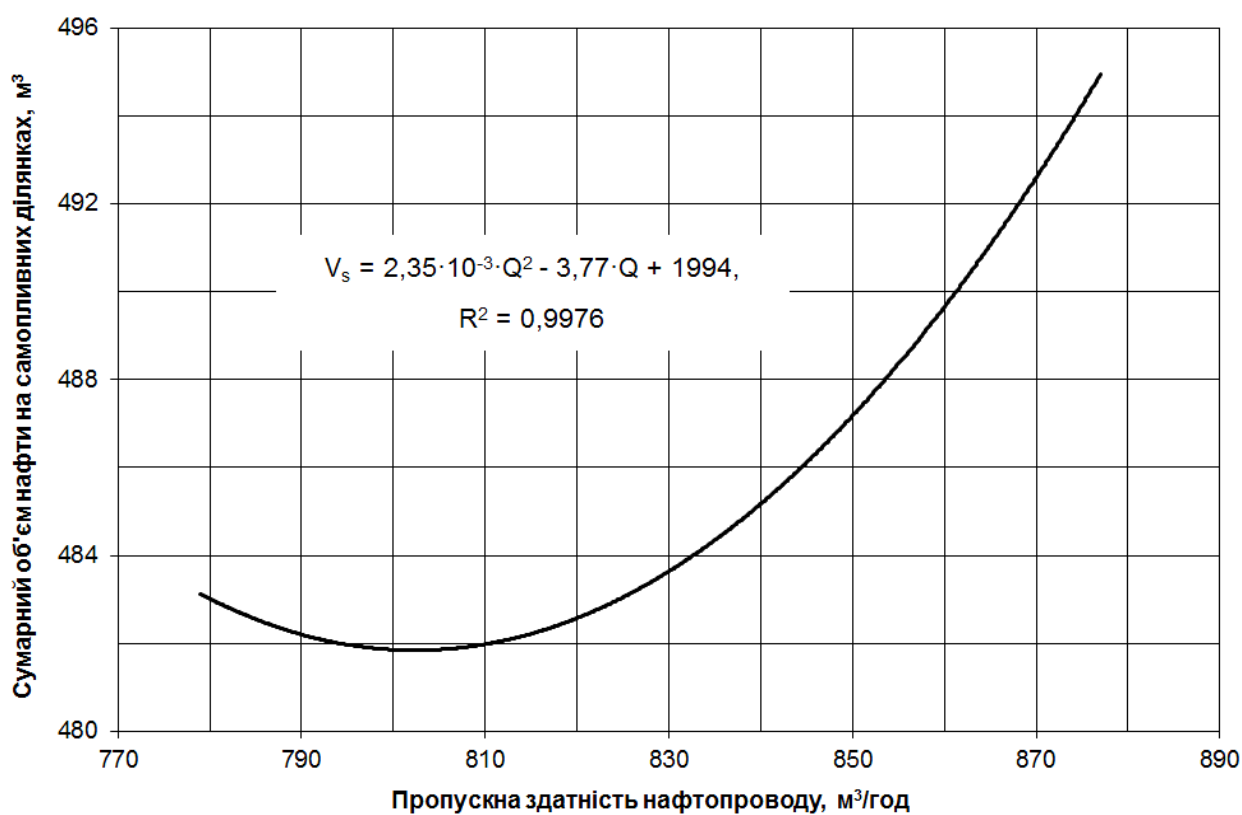


Рисунок 8 – Динаміка зміни сумарного об'єму нафти самопливних ділянок від пропускної здатності нафтопроводу для схеми роботи насосних агрегатів 1п,2

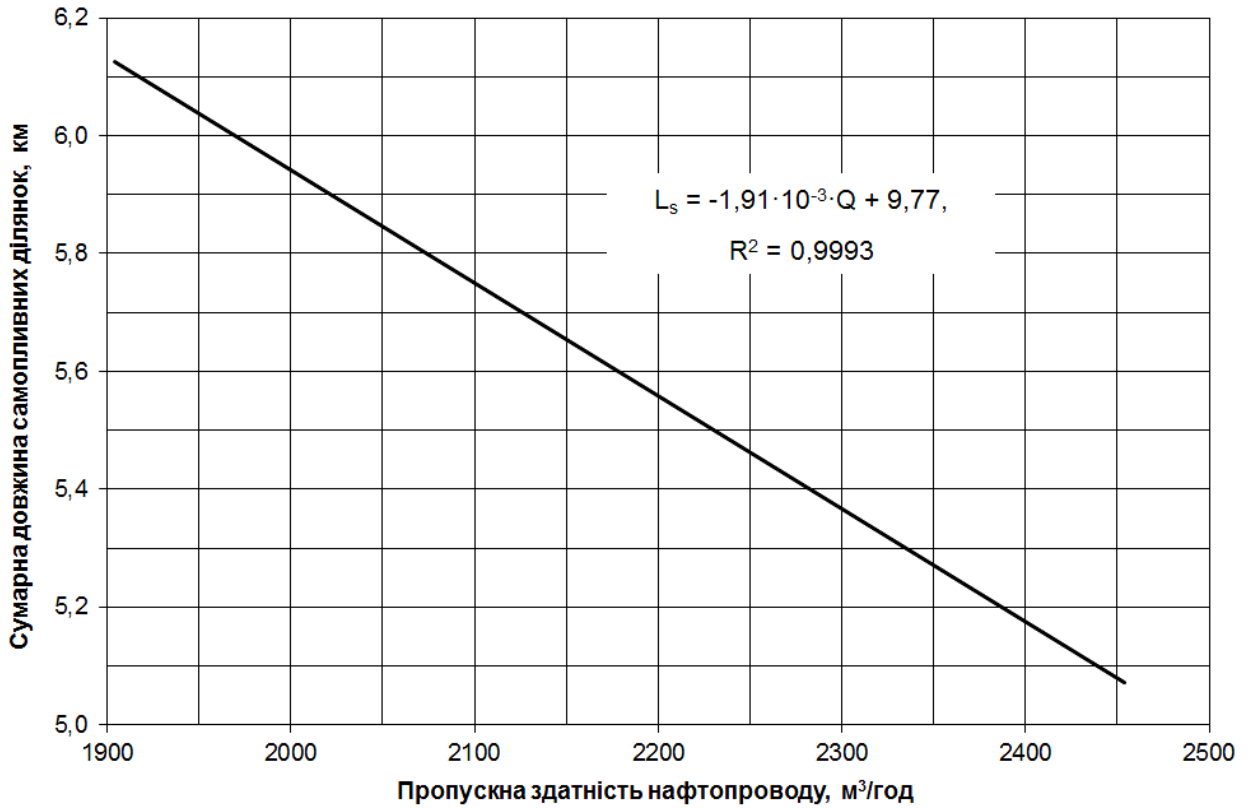


Рисунок 9 – Динаміка зміни сумарної довжини самопливних ділянок від пропускної здатності нафтопроводу для схеми роботи насосних агрегатів 1п,1,2

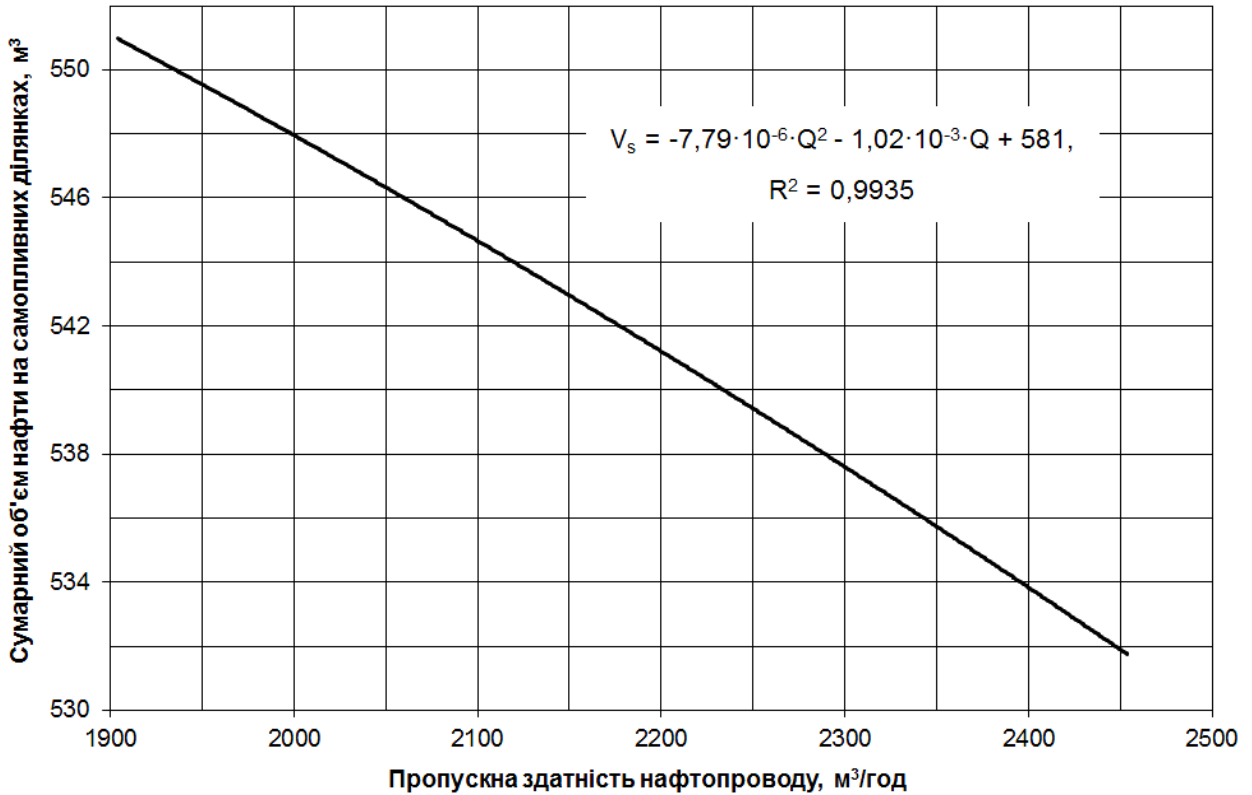


Рисунок 10 – Динаміка зміни сумарного об'єму нафти самопливних ділянок від пропускної здатності нафтопроводу для схеми роботи насосних агрегатів 1п,1,2

**Література**

- 1 Середюк М. Д. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів: [підруч. для студ. вищ. навч. закл.] / Середюк М. Д., Якимів Й. В., Лісафін В. П. – Івано-Франківськ: Кременчук, 2001. – 517 с.
- 2 Лурье М. В. Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа. – М.: Нефть и газ, 2003. – 325 с.
- 3 Григорський С. Я Визначення положення та ступеня заповнення самопливних ділянок магістральних трубопроводів / С. Я. Григорський, Середюк М. Д. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2012. – №4(45). – С. 198-209.
- 4 Середюк М. Д. 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.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
01.08.14*

*Рекомендована до друку  
професором Грудзом В.Я.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
д-ром техн. наук Зайцевим В.В.*

*(Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова, м. Миколаїв)*