

ТРАНСПОРТ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ І ГАЗУ

УДК 622.692.4

DOI: 10.31471/1993-9965-2018-2(45)-34-40

СПРОЩЕНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ НА СУМІШОУТВОРЕННЯ ПОСЛІДОВНО ТРАНСПОРТОВАНИХ ТРУБОПРОВОДОМ РІЗНОСОРТНИХ РІДИН

М. Д. Середюк

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15; тел. (0342) 727139,
e-mail: serediukm@gmail.com*

Розроблено спрощений метод, який дає змогу врахувати вплив зміни швидкості за лінійним та нелінійним законами на інтенсивність сумішоутворення різносортних нафт або нафтопродуктів у процесі послідовного перекачування трубопроводом. Запропоновано розрахункові формули для розподілу концентрацій рідин уздовж зони суміші, для об'єму суміші та її розкладання в кінцевому пункті трубопроводу.

Ключові слова: нафтопровід; послідовне перекачування; зміна швидкості; рівняння турбулентної дифузії; ефективний коефіцієнт змішування; об'єм суміші.

Разработан упрощенный метод, позволяющий учитывать влияние изменения скорости по линейному и нелинейному законам на интенсивность смесеобразования разносортных нефтей или нефтепродуктов в процессе последовательной перекачки по трубопроводу. Предложены расчетные формулы для распределения концентраций жидкостей по длине зоны смешения, для объема смеси и ее раскладки на конечном пункте трубопровода.

Ключевые слова: нефтепровод; последовательная перекачка; изменение скорости; уравнение турбулентной диффузии; эффективный коэффициент смешения; объем смеси.

A simplified method that allows considering the influence of linear and non-linear speed change on the mixing intensity of different oil or petroleum products in the process of sequential pumping was developed. The calculation formulas for distribution of concentrations of liquids along the length of the mixture zone, for its volume and expansion at the pipeline terminal point were proposed.

Key words: oil pipeline; batching; change of speed; turbulent diffusion equation; effective mixing coefficient; mixture volume.

Вступ. Однією із основних характеристик сучасного стану трубопровідного транспорту нафти України є його значне недовантаження, що суттєво знижує енергоефективність експлуатації магістральних нафтопроводів. Як засвідчує світова практика, ефективним способом збільшення об'ємів завантаження нафтопроводів і покращання показників енергоефективності є застосування прогресивної технології послідовного перекачування різносортних нафт. Зазначена технологія довела свою ефективність як при трубопровідному транспортуванні різносортних нафтопродуктів, так і при транспортуванні нафт різних сортів.

У минулому Україна широко застосовувала зазначену технологію для послідовного перекачування світлих нафтопродуктів системою

магістральних нафтопродуктопроводів. На магістральних нафтопроводах України останніми роками неодноразово успішно здійснювали послідовне перекачування партій нафт з альтернативних джерел постачання.

Магістральні нафтопроводи України експлуатуються АТ «Укртранснафта». З метою стратегічного розвитку товариство планує підготовку і реалізацію проекту створення Євро-Азійського нафтотранспортного коридору (ЄАНТК) та будівництво нового нафтопроводу Кременчук-Шебелинка. Реалізація зазначених завдань передбачає транспортування існуючими та новим нафтопроводом України, крім російської експортної суміші, інших сортів нафти, у тому числі, способом послідовного перекачу-

вання. Це підтверджує актуальність досліджень з даної тематики для нафтогазової галузі.

У випадку застосування технології послідовного перекачування в трубопроводі послідовно закачують партії двох або більше рідин різних сортів. У кінці трубопроводу партію кожної рідини приймають в окремі групи резервуарів. Через наявність молекулярної та турбулентної дифузії в зоні контактування різносортих рідин утворюється певний об'єм їх суміші. Цей об'єм залежить від багатьох чинників, у тому числі від режимних параметрів експлуатації трубопроводу. Оскільки суміш рідин не можна використовувати як товарний продукт, то основним завданням при реалізації послідовного перекачування різносортих нафт або нафтопродуктів є досягнення мінімального її об'єму. Це визначає теоретичне та практичне значення дослідження закономірностей сумішоутворення різносортих рідин у трубопроводі за їх послідовного перекачування [1,2].

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням впливу різних чинників на процес сумішоутворення різносортих рідин присвячено низку робіт. У роботах [3, 4] встановлено вплив зміни температури послідовно транспортованих рідин на об'єм суміші. Роботи [5, 6] присвячено теоретичним та експериментальним дослідженням ефективності застосування рідинних розділювачів у процесі послідовного перекачування. У роботах [7,8] запропоновано методи визначення пропускної здатності нафтопроводів за неусталених режимів послідовного перекачування різносортих нафт.

Одним із впливових чинників, що визначає інтенсивність сумішоутворення послідовно транспортованих рідин, є гідравлічний режим їх руху в трубопроводі. За сталого діаметра трубопроводу та в'язкості транспортованих рідин режим руху залежить від витрати, що пропорційна швидкості руху рідин. Результати досліджень засвідчують, що при переміщенні зони контакту різносортих рідин по довжині трубопроводу швидкість руху є величиною змінною [8,9]. Це впливає на закономірності сумішоутворення різносортих рідин і вимагає додаткових досліджень.

У роботі [10] нами розглянуто випадок впливу на параметри сумішоутворення зміни швидкості за лінійним законом. Однак при пересуванні вздовж трубопроводу зони контакту різносортих нафт або нафтопродуктів швидкість руху може змінюватись за нелінійним законом.

Метою досліджень є встановлення впливу зміни швидкості руху послідовно транспортованих рідин на закономірності їх сумішоутворення у трубопроводі.

Для досягнення мети необхідно розробити спрощений метод розрахунку розподілу концентрацій різносортих рідин, об'єму суміші різносортих рідин та об'єму домішок у резервуарах з товарними продуктами з урахуванням закону зміни швидкості руху в трубопроводі.

Виклад основного матеріалу

На початку циклу послідовного перекачування вся порожнина трубопроводу заповнена однією із транспортованих рідин, яку надалі будемо позначати рідиною А. У певний момент часу розпочинається закачування у трубопровод другої рідини – рідини В. У зоні їх контактування утворюється суміш двох рідин, об'єм якої зростає у напрямку від початку до кінця трубопроводу.

Процес сумішоутворення різносортих рідин при послідовному перекачуванні трубопроводом прийнято описувати рівнянням одномірної турбулентної дифузії, яке представляють у різному вигляді. Обов'язковим елементом даного рівняння є коефіцієнт турбулентної дифузії, який більш правильно називати ефективним коефіцієнтом змішування D_e . Він характеризує інтенсивність змішування різносортих рідин в трубопроводі і залежить як від фізичних властивостей рідин, так і від режиму їх руху в трубопроводі.

У попередній роботі [10] нами розроблено методику, яка дає змогу визначити пропускну здатність магістрального трубопроводу та питомі витрати електроенергії на транспортування з врахуванням зміни швидкості послідовно транспортованих різносортих рідин. Розрахунки за зазначеною програмою засвідчили, що зі зміщенням зони контактування різносортих рідин у напрямку їх руху трубопроводом об'ємна витрата не є сталою величиною, а змінюється за законом, який можна достовірно описати поліномом першого або другого степеня. Там само запропоновано метод урахування лінійного закону зміни швидкості послідовно транспортованих рідин на процес їх сумішоутворення в трубопроводі, який базується на розв'язуванні рівняння турбулентної дифузії

$$\frac{\partial K_b}{\partial t} + w(t) \frac{\partial K_b}{\partial x} = D_e(t) \frac{\partial^2 K_b}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де K_b – миттєва концентрація другої у контакті рідини;

t – час змішування, що відлічується від моменту зміни сортів рідин на початку трубопроводу;

$w(t)$ – усереднена за перерізом труби швидкість руху середини зони суміші рідин;

x – відстань від початку трубопроводу до перерізу, в якому необхідно знайти концентрацію рідин;

$D_e(t)$ – ефективний коефіцієнт змішування рідин, функція часу змішування рідин.

Одержані формули для розрахунку параметрів послідовного перекачування різносортих рідин є досить складними і передбачають обов'язкове застосування комп'ютерних програм.

Нижче пропонується спрощений метод урахування лінійного та нелінійного законів зміни швидкості послідовно транспортованих рідин на закономірності їх сумішоутворення у трубопроводі, який може бути рекомендовано для інженерних розрахунків.

Для рухомої системи координат, початок якої переміщується трубопроводом зі швидкістю $w(t)$, рівняння турбулентної дифузії набуває вигляду [3]

$$\frac{\partial K_b}{\partial t} = D_e(t) \frac{\partial^2 K_b}{\partial \bar{x}^2}, \quad (2)$$

де \bar{x} - відстань від початку рухомої системи координат до перерізу, для якого розраховують концентрацію рідин.

Спочатку розглянемо випадок, за якого залежність між витратою послідовного транспортованих рідин та лінійною координатою розміщення у трубопроводі середини зони їх суміші адекватно описується поліномом другого степеня

$$Q = Q_o + bx_o + cx_o^2, \quad (3)$$

де Q_o, b, c - коефіцієнти математичної моделі, значення яких залежать від параметрів трубопроводу, особливостей траси, характеристик насосного обладнання, властивостей послідовно транспортованих рідин тощо;

x_o - відстань від початку трубопроводу до середини зони суміші різносортих рідин.

Коефіцієнт Q_o у формулі (3) відповідає пропускній здатності нафтопроводу за умови перекачування рідини А.

Із рівняння нерозривності потоку рідини у трубопроводі маємо

$$w(t) = \frac{dx_o}{dt} = \frac{4Q}{\pi d^2}, \quad (4)$$

де d - внутрішній діаметр трубопроводу.

Формула (4) з урахуванням виразу (3) набуває вигляду

$$\frac{dx_o}{dt} = \frac{4}{\pi d^2} (Q_o + bx_o + cx_o^2). \quad (5)$$

Для розв'язування диференціального рівняння (5) необхідно виконати інтегрування таких виразів

$$\int_0^t dt = \frac{\pi d^2}{4} \int_0^{x_o} \frac{dx_o}{Q_o + bx_o + cx_o^2}. \quad (6)$$

Після інтегрування одержуємо такі аналітичні вирази для часу взаємного змішування різносортих рідин t залежно від положення зони їх контакту в трубопроводі x_o з урахуванням зміни швидкості руху за нелінійним законом:

якщо $4Q_o c - b^2 < 0$

$$t = \frac{\pi d^2}{4} \frac{1}{\sqrt{b^2 - 4Q_o c}} \times \quad (7)$$

$$\times \ln \left| \frac{(2cx_o + b - \sqrt{b^2 - 4Q_o c})(b + \sqrt{b^2 - 4Q_o c})}{(2cx_o + b + \sqrt{b^2 - 4Q_o c})(b - \sqrt{b^2 - 4Q_o c})} \right|;$$

якщо $4Q_o c - b^2 > 0$

$$t = \frac{\pi d^2}{2} \frac{1}{\sqrt{4Q_o c - b^2}} \times \left[\arctg \frac{2cx_o + b}{\sqrt{4Q_o c - b^2}} - \arctg \frac{b}{\sqrt{4Q_o c - b^2}} \right]. \quad (8)$$

У роботах [3,9,10] показано, що розв'язок рівняння (2) можна шукати, замінивши в ньому змінну t на η за умовою

$$\eta = \int_0^t D_e(t) dt. \quad (9)$$

Якщо ввести поняття середньоінтегрального (за часом) значення ефективного коефіцієнта змішування

$$D_{e_{cep}} = \frac{1}{t} \int_0^t D_e(t) dt, \quad (10)$$

то одержимо зв'язок між параметрами η та $D_{e_{cep}}$

$$\eta = D_{e_{cep}} t. \quad (11)$$

Для ефективного коефіцієнта змішування застосуємо запропоновану нами у роботі [3] універсальну математичну модель

$$D_e = A(wd)^{1-n} v_{cep}^n = A \left(\frac{4Q}{\pi d} \right)^{1-n} v_{cep}^n, \quad (12)$$

де v_{cep} - кінематична в'язкість суміші послідовно транспортованих рідин у співвідношенні 1:1 за об'ємом;

A, n - коефіцієнти математичної моделі.

У зоні гідравлічно гладких труб турбулентного режиму при застосуванні формули А. Ш. Асатуряна $A = 17,4$; $n = 1/3$; при застосуванні формули М. В. Нечваля $A = 18,7$; $n = 0,339$.

Для зони змішаного тертя турбулентного режиму руху рідин значення коефіцієнтів у формулі (12) такі [3]:

$$A = 28,7 \cdot \left(10^{0,1271g \frac{k_e}{d}} - 0,627 \right)^{0,378}; \quad n = 0,292,$$

де k_e - абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні труби.

Формула (12) для ефективного коефіцієнта змішування з урахуванням (3) набуває вигляду

$$D_e = A \left(\frac{4}{\pi d} \right)^{1-n} v_{cep}^n (Q_o + bx_o + cx_o^2)^{1-n}. \quad (13)$$

З метою спрощення математичних викладок використаємо у рівнянні (2) поняття середньоінтегрального (за довжиною змішування x_o) значення ефективного коефіцієнта змішування

$$D_{e_{cep}} = A \left(\frac{4}{\pi d} \right)^{1-n} v_{cep}^n \times \frac{1}{x_o} \int_0^{x_o} (Q_o + bx_o + cx_o^2)^{1-n} dx_o. \quad (14)$$

Інтеграл у формулі (14) можна обчислити числовим способом. Нами розроблено програму для розрахунку за зазначеною формулою середньоінтегрального значення ефективного коефіцієнта змішування за методом Сімпсона.

Для проведення інженерних розрахунків параметрів послідовного перекачування трубопроводом різносортих нафт або нафтопродуктів пропонуємо спрощений метод обчислення значення ефективного коефіцієнта змішування. Спочатку введемо поняття усередненої за довжиною шляху змішування рідин об'ємної витрати

$$Q_{cep} = \frac{1}{x_o} \int_0^{x_o} Q dx_o, \quad (15)$$

Формула (15) з урахуванням (3) набуває вигляду

$$Q_{cep} = \frac{1}{x_o} \int_0^{x_o} (Q_o + bx_o + cx_o^2) dx_o, \quad (16)$$

У результаті інтегрування виразу (16), одержуємо

$$Q_{cep} = Q_o + \frac{bx_o}{2} + \frac{cx_o^2}{3}. \quad (17)$$

Враховуючи вираз (13), одержуємо таку спрощену формулу для усередненого значення ефективного коефіцієнта змішування, яка може бути використана у разі лінійного та нелінійного законів зміни швидкості різносортих рідин в трубопроводі

$$D_{e_{cep}} = A \left(\frac{4}{\pi d} \right)^{1-n} v_{cep}^n Q_{cep}^{1-n}. \quad (18)$$

Для нелінійного закону зміни швидкості руху різносортих рідин в процесі їх послідовного перекачування формула (18) набуває вигляду

$$D_{e_{cep}} = A \left(\frac{4}{\pi d} \right)^{1-n} v_{cep}^n \left(Q_o + \frac{bx_o}{2} + \frac{cx_o^2}{3} \right)^{1-n}. \quad (19)$$

Розв'язок рівняння турбулентної дифузії (2) представляємо у вигляді [1,2]

$$K_b = \frac{1}{2} [1 - \Phi(z)], \quad (20)$$

де $\Phi(z)$ - інтеграл ймовірностей;

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\gamma^2} d\gamma, \quad (21)$$

z - аргумент інтегралу ймовірностей,

$$z = \frac{\bar{x}}{2\sqrt{D_{e_{cep}} t}}. \quad (22)$$

Закономірності розподілу концентрацій послідовно транспортованих рідин у трубопро-

воді дають змогу одержати формулу для об'єму суміші.

Формула для визначення об'єму суміші різносортих рідин за змінної швидкості їх руху у трубопроводі у період заміщення однієї рідини іншою дорівнює [1,2]

$$V_{сум} = \frac{\pi d^2}{2} (z_1 - z_2) \sqrt{D_{e_{cep}} t}, \quad (23)$$

де z_1, z_2 - аргументи інтеграла ймовірностей, що відповідають граничним концентраціям рідин на початку і в кінці об'єму суміші.

Для розкладання суміші послідовного транспортованих рідин у кінці трубопроводу необхідно знати, який об'єм домішок (рідин іншого сорту) міститься у суміші і надійде у резервуари з товарними продуктами.

Об'єм рідини В, що надійде у вигляді домішки у резервуари з рідиною А, у випадку розділення суміші на дві частини в перерізі трубопроводу з концентрацією рідини В K_b знайдемо шляхом інтегрування такого виразу [1]

$$V_b = \int_{k_b}^0 K_b dV_{сум}. \quad (24)$$

З урахуванням виразів (20) і (23), після інтегрування одержуємо

$$V_b = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \theta(z) \sqrt{D_{e_{cep}} t}, \quad (25)$$

де

$$\theta(z) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-z^2} - z [1 - \Phi(z)].$$

У випадку лінійного закону зміни витрати при переміщенні зони суміші послідовно транспортованих рідин в трубопроводі

$$Q = Q_o + bx_o,$$

як показано нами у роботі [10], залежність між часом змішування двох різносортих рідин і лінійною координатою розміщення середини зони суміші в трубопроводі у має такий вигляд

$$t = \frac{\pi d^2}{4b} \ln \left(1 + \frac{b}{Q_o} x_o \right).$$

Всі інші наведені вище формули будуть справедливі для лінійного закону зміни витрати, якщо прийняти, що коефіцієнт c у формулі (3) дорівнює нулю.

Для апробації методики виконано розрахунки параметрів послідовного перекачування двох сортів нафти з такими розрахунковими властивостями: для першого сорту: густина $\rho_1 = 870 \text{ кг/м}^3$, кінематична в'язкість $\nu_1 = 50 \text{ сСт}$; для другого сорту: густина $\rho_2 = 850 \text{ кг/м}^3$, кінематична в'язкість $\nu_2 = 10 \text{ сСт}$.

Як модельний нафтопровід вибрана ділянка діючого магістрального нафтопроводу довжиною 100 км з внутрішнім діаметром 0,702 м. Нафтоперекачувальна станція оснащена магістральними насосами марки НМ 3600-230.

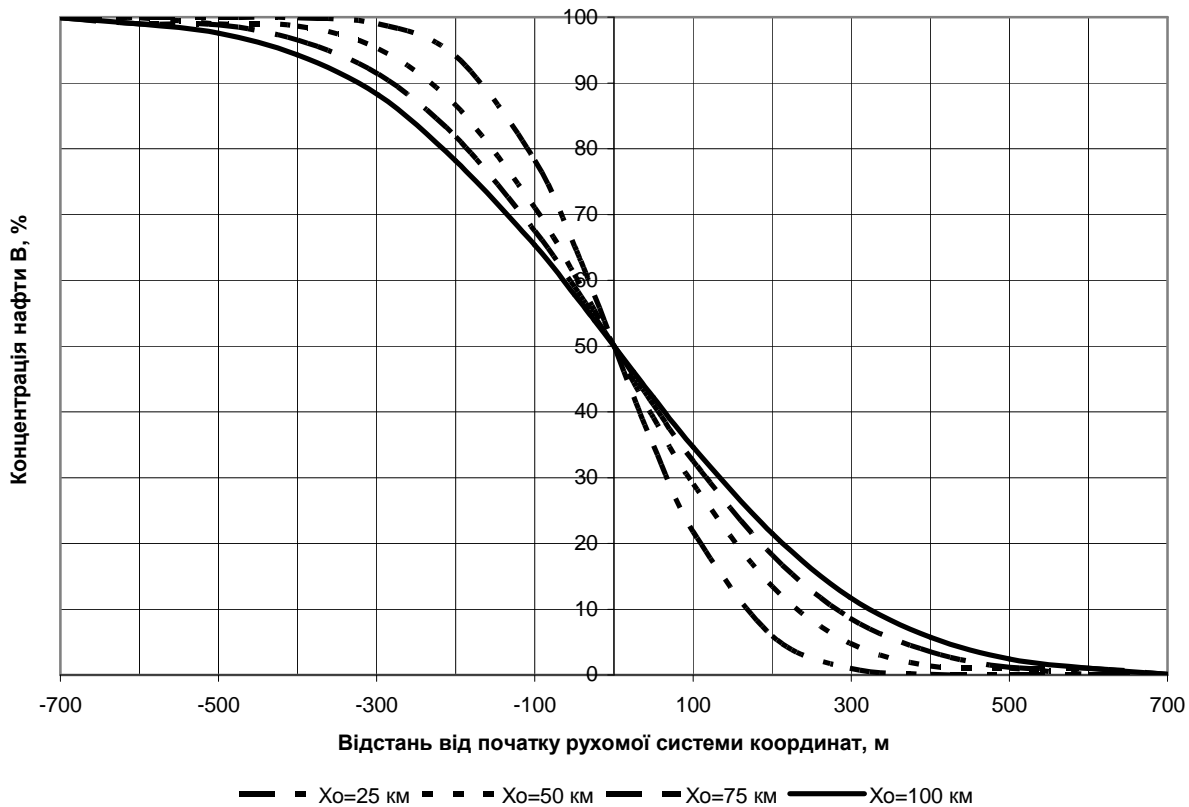


Рисунок 1 – Розподіл концентрацій нафти сорту В уздовж зони змішування для різних положень початку рухомої системи координат

За результатами багатоваріантних розрахунків одержано, що пропускна здатність модельного нафтопроводу Q ($\text{м}^3/\text{с}$) так залежить від лінійної координати зони контакту нафт x_o (м):

$$Q = 0,552 + 1,077 \cdot 10^{-6} x_o + 1,357 \cdot 10^{-12} x_o^2. \quad (26)$$

Спочатку порівнюємо між собою два методи розрахунку середньоінтегрального значення ефективного коефіцієнта змішування: перший, що базується на формулі (14), і другий, що передбачає застосування спрощеної формули (19). Визначимо концентрацію рідини В на відстані 100 м від середини зони суміші для моменту підходу її до кінця трубопроводу. За формулою (8) знаходимо тривалість процесу змішування двох сортів нафти $t = 63621$ с. За формулою (14) середньоінтегральне значення ефективного коефіцієнта змішування дорівнює $D_{e\text{сер}} = 0,5053 \text{ м}^2$, концентрація нафти В $K_b = 34,66 \%$. За спрощеною формулою (19) середньоінтегральне значення ефективного коефіцієнта змішування дорівнює $D_{e\text{сер}} = 0,5054$, концентрація нафти В $K_b = 34,67 \%$. Результати обчислень практично співпадають, що свідчить про правомірність застосування в інженерних розрахунках параметрів послідовного перекачування запропонованого спрощеного методу.

За наведеними вище формулами виконано розрахунки концентрації другої у циклі нафти для кількох положень зони суміші на трасі нафтопроводу та різних значень відстаней від початку рухомої системи координат. У результаті побудовано графіки розподілу концентрацій нафти В K_b по довжині зони суміші (рис. 1). Обчислено об'єм суміші різносортних нафт для граничних концентрацій $K_{b_1} - K_{b_2} = 1 - 99 \%$ для різних положень зони контакту на трасі нафтопроводу (рис. 2). Знайдено об'єм нафти В, що як домішка надійде у резервуари з нафтою А для різних варіантів розподілу суміші на дві частини у кінці нафтопроводу (рис. 3).

Визначимо правомірність застосування спрощеної методики для інженерних розрахунків параметрів послідовного перекачування різносортних рідин за лінійного закону зміни швидкості. Для цього порівнюємо результати обчислень концентрації нафти сорту В за двома методами: методом, що розроблений нами у роботі [10], та спрощеним методом, що пропонується у даній роботі. Розрахунки виконуємо для випадку підходу зони суміші до кінця трубопроводу за різних відстаней до початку рухомої системи координат для вихідних даних, які зазначені у роботі [10]. Одержані результати зведено у таблицю 1.

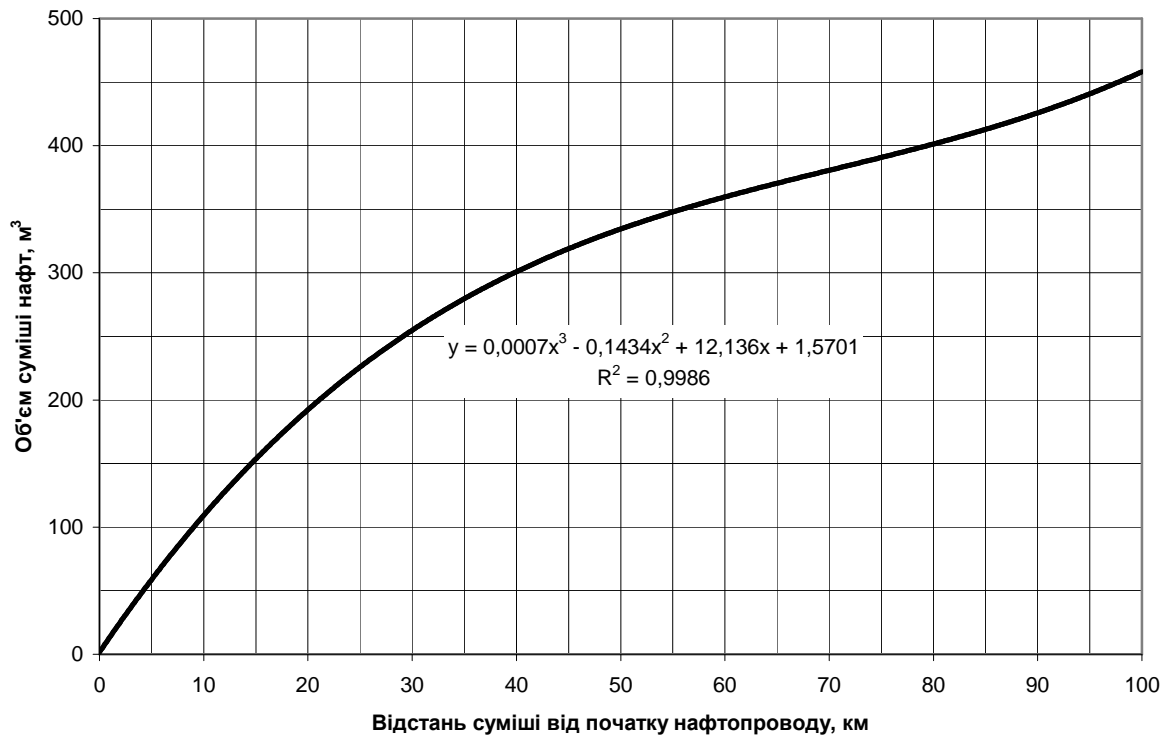


Рисунок 2 – Залежність об'єму суміші послідовно транспортованих нафт від розташування середини зони змішування у нафтопроводі

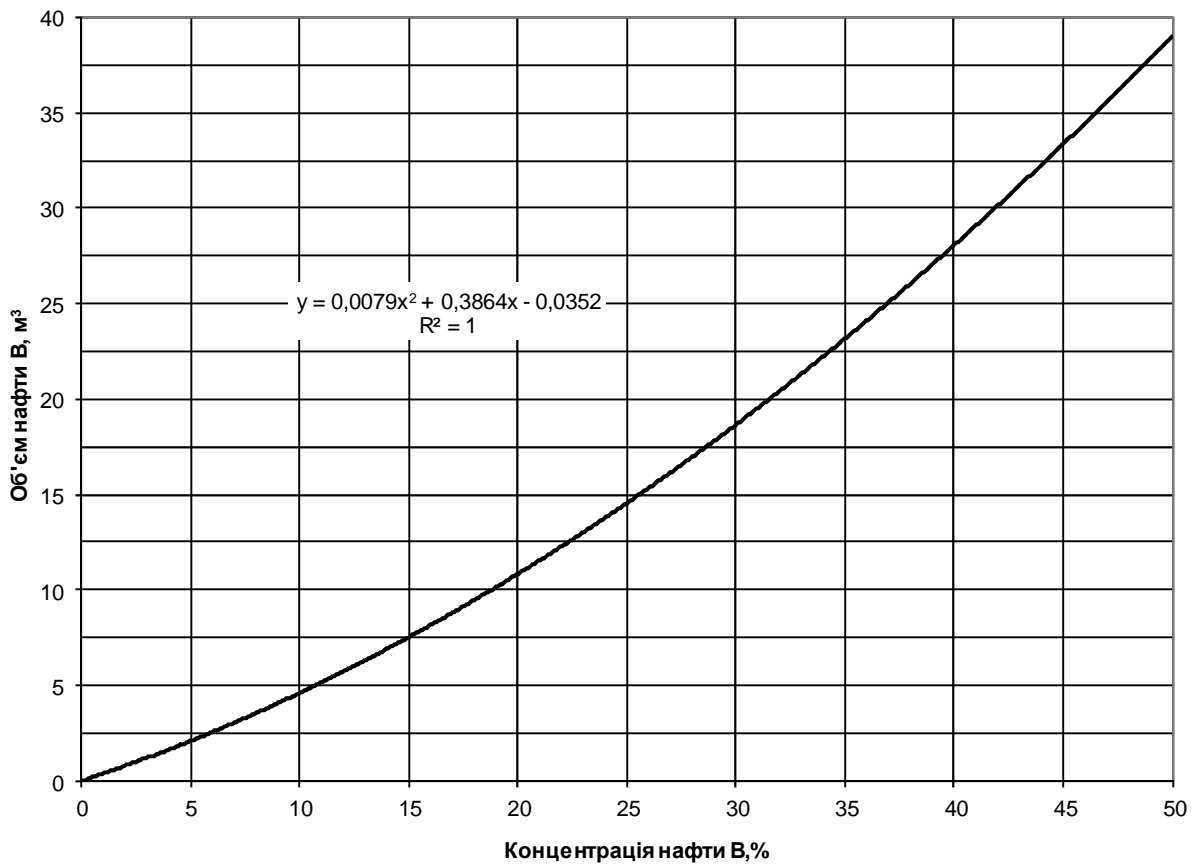


Рисунок 3 – Залежність об'єму домішки нафти сорту В у резервуарах з нафтою А від концентрації розділення суміші на дві частини в кінцевому пункті нафтопроводу

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунків параметрів послідовного перекачування різносортних нафт за двома методами урахування впливу зміни швидкості

Відстань від початку рухомої системи координат	Концентрація нафти В, %, розрахована	
	за методом, що запропонований у роботі [10]	за спрощеним методом, що пропонується у даній роботі
0	50	50
20	46,84	46,86
40	43,71	43,73
60	40,61	40,65
80	37,57	37,62
100	34,61	34,66
200	21,42	21,51
300	11,75	11,84
400	5,66	5,73
500	2,43	2,43
600	0,88	0,90

Висновки

1 Розроблено спрощений метод урахування впливу зміни швидкості послідовно транспортovаних рідин у трубопроводі на інтенсивність їх сумішоутворення. Він забезпечує достовірні результати як за лінійного, так і за нелінійного законів зміни швидкості руху послідовно транспортovаних рідин. Різниця результатів за спрощеним і точним методами не перевищує 2 % (що знаходиться у межах точності розрахункових формул).

2 З метою апробації розробки виконано розрахунки параметрів послідовного перекачування двох сортів нафти магістральним трубопроводом. У результаті одержано, що залежність об'єму суміші від відстані між середньою суміші і початком трубопроводу адекватно описується поліномом третього степеня. Залежність об'єму домішки нафти сорту В у резервуарах з нафтою А від концентрації розділення суміші на дві частини в кінцевому пункті адекватно можна описати поліномом другого степеня.

3 Запропонований спрощений метод врахування впливу зміни швидкості руху послідовно транспортovаних рідин на параметри їх сумішоутворення може бути рекомендовано для розрахунків режимів експлуатації магістральних нафтопроводів.

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

2 Коршак А. А. Трубопроводный транспорт нефти, нефтепродуктов и газа: [учебник для вузов] / Коршак А. А., Нечваль А. М. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис. 2005. – 515 с.

3 Фролов К. Д. Объем смеси при последовательной перекачке подогретых вязких жидкостей / Фролов К. Д., Федорак М. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. –1971. – № 1. – С 11-14.

4 Фролов К. Д. Прием смеси в резервуары при последовательной перекачке разносортных нефтей и нефтепродуктов / Фролов К. Д., Середюк М. Д. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. –1973. – № 7. – С 12-15.

5 Фролов К. Д. Прием смеси в резервуары при последовательной перекачке с буферным нефтепродуктом / Фролов К. Д., Середюк М. Д. // Нефтяное хозяйство. –1974. – № 12. – С 59-62.

6 Фролов К. Д. Экспериментальные исследования последовательной перекачки разносортных продуктов с жидкостными разделительными пробками / Фролов К. Д., Середюк М. Д., Якимив Й. В. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. –1975. – № 7. – С 5-9.

7 Люта Н. В. Дослідження впливу нестационарності на пропускну здатність нафтопроводу при послідовному перекачуванні різносортних нафт / Люта Н. В., Середюк М. Д. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2001. – №1. – С.53-58.

8 Середюк М. Д. Гідравлічні розрахунки процесу витіснення нафти з першої нитки нафтопроводу Лисичанськ-Тихорецьк / Середюк М. Д., Івоняк А. С. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. – № 3(8). – С.103-108.

9 Гольянов А. И. Смешение жидкостей в трубопроводе при изменении скорости перекачки / Гольянов А. И., Нечваль М. В. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. – 1972. – № 7. – С. 5-7.

10 Середюк М. Д. Вплив зміни швидкості на змішвання різносортних рідин в процесі їх послідовного перекачування трубопроводом / Середюк М. Д. // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". – 2018. – №20. Т1.– С. 87-94.

Стаття надійшла до редакційної колегії 13.12.18

Рекомендована до друку професором Грудзом В.Я. (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) канд. техн. наук Яновським С.Р. (Філія «Магістральні нафтопроводи «Дружба» ПАТ «Укртранснафта», м. Львів)