

Методика оцінювання прихованих періодичностей спектральними методами під час розрахунку процесу транспортування вуглеводнів трубопроводами

Вікторія Степник¹, Ігор Заячук²

¹ Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013,
e-mail: Viktoriia.Stepnik@gmail.com

² к. т. н., Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України, вул. Дж. Дудаєва, 15,
Львів, 79005, e-mail: igorzaj@litech.lviv.ua

Описано процес витікання вуглеводнів через отвори трубопроводу та на основі математичного моделювання отримано формули для обчислення втрат вуглеводнів у трубопроводах. Проаналізовано методи оцінки впливу шкідливих викидів на довкілля за попередньо опрацьованими даними. Запропоновано методику пошуку прихованих періодичностей методами гармонійного аналізу Фур'є-Якобі та інтегрального перетворення Лапласа.

Ключові слова: приховані періодичності, втрати вуглеводнів, емпіричні формули, перетворення Лапласа, ряди Фур'є.

Вступ. У природі більшість процесів є періодичними. Це, зокрема, зміна температури повітря упродовж доби та року, періодична зміна пір року та пов'язані з нею енергетичні затрати тощо. Однак не завжди можна чітко виділити періодичність процесу. Така ситуація виникає, якщо значення параметрів процесу визначають опосередковано або безпосереднім їх вимірюванням. Тоді необхідно враховувати похибку приладів, різного роду адитивні та мультиплікативні шуми. Окрім того, існує неточність математичного опису задачі, що зумовлює похибку та неповну відповідність математичної моделі реальному об'єкту. Виконання арифметичних операцій вносить похибку заокруглення у результат розрахунку. У процесі дослідження реальних фізичних явищ вхідна інформація, зазвичай, відома в довільних точках із невисокою точністю. Для формулювання задачі математичної фізики необхідно за заданою дискретною інформацією сформулювати крайові умови в параметричній формі. Отже вхідна дискретна інформація містить довільні похибки, які необхідно відфільтрувати. Для фільтрації використовують методи математичної статистики. Все це стосується оцінки періодичних процесів, яка має значний вплив на аналіз їх результатів [1].

Тому доволі складно визначити чи є процес періодичним чи ні. Для виявлення періодичності процесу необхідно попередньо провести опрацювання заміряних величин. Далі на основі розроблених критеріїв можна досліджувати періодичність процесу за заданою змінною. У математичному плані виявлення прихованих

періодичностей є однією з характерних задач опрацювання даних. Ефективними способами їх виявлення є застосування теорії випадкових процесів та інтегральних перетворень.

1. Визначення прихованих періодичностей

1.1. Застосування перетворення Фур'є. Втрати вуглеводнів під час їх транспортування можна описати періодичним процесом, параметрами якого є певним чином заміряні дані у відповідних точках [2]. Для аналізу такого процесу можна використати перетворення Фур'є [3]. Ідея методики полягає у перетворенні вихідного сигналу таким чином, щоб підсилити роль періодичної компоненти та використати явище резонансу [4]. Якщо частоти ω_j гармонічних компонент, що входять у вихідний сигнал, не є близькі, то графіком функції $r(\omega) = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)}$ є крива з різко вираженими максимумами в точках $\omega = \omega_j$. Тут

$$A(\omega) = \int_0^T x_1(t) \cos \omega t dt, \quad B(\omega) = \int_0^T x_1(t) \sin \omega t dt,$$

$$x_1(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega t + b_n \sin \omega t).$$

1.2. Застосування інтегрального перетворення Лапласа. Періодичну функцію $x_1(t)$ з періодом T подамо у вигляді зображення Лапласа $X_1(p)$ [5, 6]. Співвідношення між зображенням Лапласа $X_1(p)$ та періодичною функцією $x_1(t)$ з періодом T запишемо у вигляді рівняння

$$(1 - e^{-pT}) X_1(p) - \int_0^T x_1(t) e^{-pt} dt = 0, \quad (1)$$

де p — параметр перетворення.

Розв'язками рівняння (1) будуть числа, кратні періодам вихідного сигналу. Оскільки сигнал $x_1(t)$ періодичний, то множина розв'язків рівняння (1) обмежена знизу періодом T . Із практики відомі дискретні значення сигналів $x_1(t)$ у точках $t_j, j = \overline{1, j}$ [7]. Тому для обчислення інтегралів, що входять у рівняння (1), необхідно застосовувати квадратурні формули. Вибір цих формул залежить як від необхідної точності обчислення, так і від розміщення точок відліку [8, 9].

Обчислення інтегралів, що входять у рівняння (1), пов'язано із задачею апроксимації сигналів спектральним методом у базисі многочленів Якобі [10].

2. Моделювання втрат вуглеводнів під час їх транспортування

Вважаємо, що за проміжок часу Δt рух є стаціонарний та одномірний як у трубопроводі, так і у свічі. Швидкістю руху вуглеводнів у трубопроводі, порівняно зі швидкістю їх руху у свічі, а також ефектом тертя та теплообміном у процесі витоку вуглеводнів через свічу, нехтуємо. Процес витоку відбувається за адіабатичним законом і є термодинамічно-ідеальний.

За таких припущень математична модель витоку базується на рівняннях стану $P = \rho RT_n$, $R = c_p - c_v$, описі ізотопів як для трубопроводу, так і для свічі

$P/P_0 = (\rho/\rho_0)^k$ та рівнянні Бернуллі

$$\frac{v_c^2}{2} + \frac{kp_c}{(k-1)\rho_c} = \frac{kp}{(k-1)\rho}, \quad LSd\rho + \rho_c v_c S_c dt = 0. \quad (2)$$

Тут p , ρ , T_n — тиск, густина, температура вуглеводнів відповідно; L — довжина трубопроводу, а S — площа його поперечного перерізу; S_c — характерна сумарна площа поперечного перерізу свічі; t — час; v_c — швидкість вуглеводнів на виході зі свічі; p_0, ρ_0 — тиск і густина вуглеводнів у деякому проміжному стані; R — газова стала; c_p, c_v — питомі теплоємності за сталого тиску й об'єму; k — показник адіабати ($k = c_p/c_v$); індекс «с» відноситься до параметрів виходу вуглеводнів через свічу [11-14].

Використовуючи співвідношення (2), визначимо вагові втрати вуглеводнів за допомогою формули

$$G = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \frac{kP_n S_c}{a_n} \left\{ 1 + \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \frac{k-1}{2} \frac{S_c a_n}{LS} t \right\}^{\frac{k+1}{k-1}}, \quad (3)$$

$$a_n = \sqrt{kRT_n},$$

P_n — початковий тиск у трубопроводі.

У формулі (3) всі величини, за винятком S_c , можна обчислити через відомі геометричні або газодинамічні параметри. Якщо мікротріщини труби ідентифікувати свічею з невідомим поперечним перерізом, то за формулою (3) можна визначити кількість вуглеводнів, що витікає через мікротріщини. Площу поперечного перерізу свічі визначаємо на основі експериментальних даних. За початковий тиск необхідно брати середній тиск у трубі.

У деяких випадках витік вуглеводнів можна моделювати неперервним рівномірним відбором уздовж труби. Якщо q_n — потік вуглеводнів, що входить у трубопровід, а q_k — що виходить з нього, то $\Delta q = q_n - q_k$ — кількість вуглеводнів, що відбирається вздовж труби. Вважаємо, що

$$q(x) = q_n - \frac{x}{l} \Delta q .$$

Тоді в стаціонарному випадку диференціальне рівняння для визначення розподілу тиску таке

$$\frac{dp}{dx} + \frac{\lambda \rho}{2DA^2} \left(q_n - \frac{x}{l} \Delta q \right)^2 + \rho g \frac{dh}{dx} = 0 .$$

Його розв'язком є

$$p(x) = p_0 + \frac{l \lambda \rho}{6DA^2 \Delta q} \left[\left(q_n - \frac{x}{l} \Delta q \right)^3 - q_n^3 \right] - \rho g (h(x) - h_0) .$$

Оскільки під час моделювання витоків свічею рух вуглеводнів у трубопроводі вважаємо стаціонарним, то для визначення місця витoku використаємо модель процесу втрат вуглеводнів із зосередженими відборами.

Розглядаємо трубопровід, довжини l із зосередженими відборами вуглеводнів маси m_i в точках x_i (рис. 1).

Розподіл тиску $p(x)$ на кожному з проміжків обчислюємо за формулою [15]

$$p(x) - p_0 = -\frac{\lambda m^2}{2DA^2} \frac{x}{\rho_c} - \rho_c g h(x) .$$

Якщо знехтувати зміною густини вуглеводнів, то розподіл тиску описується співвідношенням

$$p_n - p_0 = -\frac{1}{2\rho_c} \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i m_i^2 l_i}{D_i A_i^2} - \rho \sum_{i=1}^n \rho_i h_i .$$

Ця формула враховує зміну геометричних розмірів трубопроводу та параметрів вуглеводнів на кожному з проміжків. Якщо вважати, що гідравлічний опір λ , густина вуглеводнів ρ та діаметр труби D однакові, то

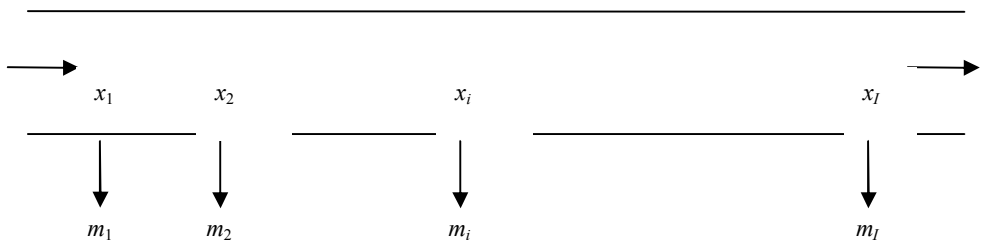


Рис. 1. Схема відбору вуглеводнів із трубопроводу

$$p_n - p_0 = -\frac{\lambda}{2\rho_c DA^2} \sum_{i=1}^n m_i^2 l_i - \rho g \sum_{i=1}^n h_i.$$

Якщо відомі заміряні величини і не можливо провести розрахунки відбору вуглеводнів аналітичними методами, то доцільно скористатися емпіричними формулами.

Втрати вуглеводнів, спричинені негерметичністю запірної арматури та зварних стиків, можна подати емпіричною формулою

$$Q_{vtr} = 1113,5 \frac{D_s L p_s \tau_d}{T_s z_s},$$

де D_s, p_s, T_s, z_s, L — середні значення діаметра, тиску, абсолютної температури, коефіцієнта стискуваності та довжини трубопроводу; τ_d — час у добах [16].

Практично оцінку витікання вуглеводнів на компресорних станціях (КС), газорозподільних станціях (ГРС) і на промислових газозбірних пунктах, здійснюють за емпіричною формулою

$$Q_{vyt} = \left(\frac{p^1 F^1}{T^1 z^1} + \frac{p^{11} F^{11}}{T^{11} z^{11}} \right) \tau, \quad (4)$$

де p^1, p^{11} — тиски на вході та виході КС або ГРС (мПа); F^1, F^{11} — площі поверхонь комунікацій ГРС або КС відповідно на вході та виході; z^1, z^{11} — коефіцієнти стисливості вуглеводнів залежно від умов входу та виходу; T^1, T^{11} — температура вуглеводнів відповідно на вході та виході КС, ГРС (К), τ — тривалість періоду в добах.

За формулою (4) також можна оцінити втрату потужності (енергії) внаслідок витікання вуглеводнів із трубопроводів на КС, ГРС і на промислових газозбірних пунктах.

Висновки. Для дослідження процесу транспортування вуглеводнів трубопроводами запропоновано методику розрахунку втрат вуглеводнів на основі спектральних методів. Для оцінки та пошуку прихованих періодичностей застосовано дискретне перетворення Фур'є та інтегральне перетворення Лапласа. Розроблено математичну модель для підрахунку втрат вуглеводнів під час їх транспортування.

Література

- [1] Бат, М. Спектральный анализ в геофизике / М. Бат. — Москва: Недра, 1980. — 535 с.
- [2] Диткин, В. А. Операционное исчисление / В. А. Диткин, А. П. Прудников. — Москва: Высшая школа, — 1975. — 407 с.

- [3] *Голд, Б.* Цифровая обработка сигналов / *Б. Голд, Ч. Рэйдер.* — Москва: Сов. радио, 1973. — 368 с.
- [4] *Толстов, Г. П.* Ряды Фурье / *Г. П. Толстов.* — Москва: Наука, 1980. — 384 с.
- [5] *Серебренников, М. Г.* Выявление скрытых периодичностей / *М. Г. Серебренников, А. А. Первозванский.* — Москва: Наука, 1965. — 244 с.
- [6] *Деч, Г.* Руководство к практическому применению преобразования Лапласа / *Г. Деч.* — Москва: Наука, 1965. — 287 с.
- [7] *П'янило, Я. Д.* Модифікація алгоритму відновлення оригіналу Лапласа з метою визначення періодичностей для аналізу даних в екології / *Я. Д. П'янило, О. З. Готра* // Актуальні проблеми економіки. — 2010. — № 11. — С. 240-246.
- [8] *Ланцош, К.* Практические методы прикладного анализа / *К. Ланцош.* — Москва: Физматгиз, 1961. — 524 с.
- [9] *Крылов, В. И.* Методы приближенного преобразования Фурье и обращения преобразования Лапласа / *В. И. Крылов, Н. С. Скобля.* — Москва: Наука, 1974. — 224 с.
- [10] *Лялько, В. І.* Використання класичних ортогональних многочленів в дистанційному зондуванні рослинності / *В. І. Лялько, Я. Д. П'янило* // Доп. НАН України. — 1997. — № 2. — С. 42-46.
- [11] *П'янило, Я. Д.* Методи статистичної обробки даних вимірювань в базисі многочленів Якобі для екологічного моніторингу / *Я. Д. П'янило, О. З. Готра* // Актуальні проблеми економіки. — 2010. — № 10. — С. 221-230.
- [12] Спектральні методи обробки та аналізу інформації в дистанційному зондуванні рослинності / *З. М. Шпортюк, В. І. Лялько, Я. Д. П'янило* та ін. — Львів: 1993. — 54 с. (Препр. / НАН України, ЦММ Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача; 4-93).
- [13] *Александров, А. В.* Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа / *А. В. Александров, Е. И. Яковлев.* — Москва: Недра, 1974. — 432 с.
- [14] *Прутула, Н. М.* Розрахунок усталеного руху газу в магістральних газопроводах / *Н. М. Прутула, М. Г. Прутула, Я. Д. П'янило* // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. — Львів, 2006. — № 565. — С. 270-274.
- [15] Прямі та обернені задачі моделювання руху речовини в об'єктах складної структури / *Я. Д. П'янило, А. О. Лопатєв, О. З. Готра* та ін. // Теорія та методика фізичного виховання. — 2009. — № 7. — С. 11-15.
- [16] *П'янило, Я.* Дослідження впливу теплофізичних параметрів на процес руху газу в трубопроводах / *Я. П'янило, Г. П'янило* // Фіз.-мат. моделювання та інформ. технології. — 2009. — Вип. 10. — С. 58-69.

Methodology of hidden periodicities estimation using spectral methods under calculation of process of hydrocarbons transporting by pipelines

Viktoriia Stepnyk, Igor Zayachuk

The process of gas leakage through the holes of the pipeline is described. On the basis of mathematical modelling the formulas for calculation of gas leakage from pipelines are obtained. Using previous data processing the methods of estimation of the influence of harmful emissions on the environment are analyzed. The methodology of a search of hidden periodicities by the methods of Fourier-Jacobi harmonic analysis and integral Laplace transform is proposed.

Методика оценки скрытых периодичностей методами при расчете процесса транспортировки углеводородов трубопроводами

Викторія Степник, Ігор Заячук

Описывается процесс вытекание углеводородов через отверстия трубопровода и с помощью математического моделирования получены формулы для вычисления потерь углеводородов из трубопроводов. Проанализированы методы оценки влияния вредных выбросов на окружающую среду на основании предварительно обработанных данных. Предложено методику поиска скрытых периодичностей методами гармонического анализа Фурье-Якоби и интегрального преобразования Лапласа.

Представлено доктором технічних наук П. Малачівським

Отримано 28.09.11