

# *Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища*

---

---

УДК 622.692.4

## ДЕТЕРМІНОВАНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

**В. Я. Грудз, В. Я. Грудз (молодший)**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
e-mail: snp@nung.edu.ua*

*Розглядаються методи створення математичних моделей технологічних процесів транспортування газу системами магістральних газопроводів, приводяться характеристики принципів моделювання стаціонарних і нестаціонарних процесів.*

**Ключові слова:** *математична модель, методи реалізації, амплітудно-частотні характеристики*

Методи аналізу роботи елементів газопостачання можна розділити на теоретичні (математичні), експериментальні і експериментально-теоретичні. Теоретичний аналіз може бути аналітичним або чисельним, таким, що проводиться за допомогою сучасних комп'ютерних систем.

У першому випадку ми отримуємо результати у вигляді формул, що дозволяють досить просто і наочно простежити залежність вихідних координат від початкових даних, структури системи і її параметрів. Проте іноді зв'язки настільки складні і які важко простежуються, що для кожного випадку треба проводити розрахунок з урахуванням не лінійності, інерційності, змінності в часі параметрів. Аналітичні рівняння отримують шляхом теоретичного аналізу процесів тепло- і масопереносу, фізико-хімічних перетворень і т. д. Найбільші труднощі виникають при знаходженні чисельних значень коефіцієнтів отриманих рівнянь. Для цього необхідно заздалегідь знати геометрію елемента, швидкості руху, коефіцієнти теплопередачі і т. д. Критерієм правильності складених рівнянь є збіг з певною точністю їх чисельних рішень з експлуатаційними даними.

Під математичною моделлю процесів газопостачання розуміється сукупність рівнянь, що описують технологічний процес, в стаціонарному або нестаціонарному режимі. Стаціонарні моделі описують характер зв'язків між вхідними  $x$  і вихідними  $y$  значеннями елементів системи газопостачання у встановленому і в переважній більшості випадків є рівняннями типу  $y = f(x_1, x_2, x_n)$ . Функція  $f$  найчастіше нелінійна. як, наприклад, у формулі пропускної спроможності газопроводів. Рівняння нестаціонарного режиму характеризують поведінку вихідних координат елементів газопостачання в несталому режимі, при постійній зміні вхідних в часі. Найчастіше процеси в облаштуваннях підготовки газу описуються звичайними диференціальними рівняннями, а процеси транспорту газу – рівняннями в часткових похідних. У багатьох випадках доцільно, якщо це потрібно, використати інтегральні рівняння. При малих змінах вхідних координат  $x_2, \dots, x_n$  нелінійна функція  $f$  може бути лінеаризована, що часто використовують, наприклад, в рівняннях руху газу. Рівняння стаціонарного режиму в загальному випадку містяться в рівняннях нестаціонарних режимів і можуть бути отримані прирівнюванням нулю усіх похідних в часі.

Основна перевага експериментальних досліджень – усунення джерел похибок, пов'язаних з недостатністю апріорної інформації при складанні аналітичної моделі елементів системи газопостачання. Проте для експериментальних досліджень потрібна наявність стендів (які на початковому етапі проектування найчастіше відсутні) для великого числа випробувань з їх подальшою математичною обробкою. Можливості експериментальних методів обмежуються також вузьким діапазоном початкових даних і, головне, практичною неможливістю у ряді випадків відтворення результатів експерименту в експлуатаційних умовах або близьких до них із-за великих економічних втрат або тривалості експерименту. Експериментальні дослідження найчастіше підрозділяють на лабораторні, напіввиробничі і виробничі.

При лабораторних дослідженнях частина елементів замінюється їх математичними моделями, і тому дослідження найчастіше зводиться до експериментально-теоретичного, т. е. частина фізичних процесів має не реальний характер, а замінюється на підставі аналітичних залежностей їх моделями з використанням критеріїв теорії подібності. Найчастіше для завдань проектування і експлуатації систем далекого транспорту газу застосовуються усі методи: на початковій стадії найчастіше – теоретичні дослідження, потім – лабораторні і, нарешті, напіввиробничі і виробничі випробування.

Для завдань диспетчерського керування системами газопостачання необхідно мати математичний опис процесів газопостачання, отримані тим або іншим розглянутим методом. Будь-який елемент системи газопостачання характеризується вхідними і вихідними параметрами, які можуть бути керованими і некерованими. На ті і інші накладається

певна технологічна, економічна, з точки зору пожежної небезпеки, техніка безпеки обмеження. Є також ряд зовнішніх чинників, найчастіше випадкових, які також необхідно враховувати в математичному описі.

Використовуються два методи математичного опису: перший ґрунтується на отриманні фізико-хімічних закономірностей, другий - на теоретичній можливості опису процесу за допомогою тих або інших формальних математичних виразів.

Перший метод ґрунтується на ретельному вивченні процесів тепло- і масопереносу в елементах систем газопередачі. Математичний опис в цьому випадку складається з рівнянь матеріального балансу, теплового балансу і т. д. Наприклад, в простому випадку рух газу по трубах описується рівняннями, в яке входить рівняння збереження кількості руху і рівняннями стану збереження маси.

При другому методі для математичного опису використовуються емпіричні математичні залежності. Наприклад, для формули в'язкості не ньютонівських рідин запропонований не один десяток емпіричних залежностей. Часто теорія подібності в чистому вигляді не застосована до процесів, що протікають в елементах газопередачі, наприклад до процесів в апаратах осушення газу сорбентами. Тому формальні емпіричні закономірності, отримані для лабораторних установок, не можна без додаткових досліджень використати для розрахунку промислових установок. Математичний опис ґрунтується на фізико-хімічних закономірностях, адекватно технологічному процесу. Тому другий метод доцільно застосовувати за відсутності апріорної інформації про структуру системи і фізико-хімічні процеси, що протікають в ній, для оцінки меж використання аналітичних методів, а при великій складності аналітичного опису – для отримання простіших аналітичних виразів. Проблема визначення математичного опису в елементах систем транспорту газу в стаціонарному(статичні характеристики) і несталому(динамічні) режимах є проблемою ідентифікації характеристик елементів систем транспорту газу. Її рішення складається з вибору методу, виходячи з конкретних умов роботи елемента газопостачання і наявної апріорної інформації про його властивості; вибору умов роботи і дій на цей елемент, при яких слід знімати експериментальні дані; обробки експериментальних даних для визначення шуканих характеристик; оцінки точності і т. д.

Повна модель системи складається з математичного опису зв'язків між основними змінними технологічного процесу в стаціонарному і нестаціонарному режимах, технологічних, економічних і інших обмеженнях процесу. Часто в неї включають у разі складних систем критерій оптимальної роботи.

Проте будь-який математичний опис – лише наближення до реального процесу. Тому виникає завдання оцінки адекватності моделі і

необхідності її корекції. Зокрема, якщо в математичній моделі  $i$  змінних, то можна в якості критерію використати функцію

$$\Phi = \sum_{i=1}^n a_i (x_i - \bar{x}_i)^2,$$

де  $a_i$  – ваговий коефіцієнт, вибраний з міркувань важливості тих або інших змінних, виходячи з теорії чутливості;  $x_i$  і  $\bar{x}_i$  – значення мінних в моделі, визначених експериментально на об'єкті.

Функція  $\Phi$  може служити кількісним вираженням адекватності математичній моделі. Для корекції необхідно зробити мінімізацію функції  $\Phi$  залежності від отриманих результатів скоректувати коефіцієнти математичної моделі. За наявності лише двох змінних адекватність моделі встановлюється дуже просто – найчастіше за допомогою критерію мінімуму середньоквадратичної помилки.

Елементи системи газопостачання можна розділити на елементи із зосередженими параметрами, що описуються в загальному випадку звичайними диференціальними рівняннями, і елементи з розподіленими параметрами у просторі та часі, описувані рівняннями в приватних похідних. Вони можуть бути лінійними і нелінійними. Теорія лінійних систем розроблена досить повно, тому в кожній слушній нагоді бажано звести нелінійну систему до лінеаризованої.

Процеси, що протікають в системі транспорту газу, можуть бути детермінованими і імовірнісними. До останніх, наприклад, можна віднести закони споживання газу в мережах низького тиску.

Методи визначення поведінки системи в стаціонарному (статична модель) і несталому (динамічна модель) режимах діляться на активні і пасивні. При активному методі необхідно мати можливість зміни параметрів системи і фіксації її поведінки. Пасивний експеримент ґрунтується на реєстрації контрольованих змінних в режимі нормальної експлуатації системи. Після експериментів по обох методиках здійснюють математичну обробку експериментальних даних, найчастіше статистичним шляхом.

Спосіб пасивного експерименту економічно більше виправданий і практично єдино можливий, коли отримують математичний опис елементу на працюючому об'єкті шляхом спеціального збору даних нормальної експлуатації або використання записів диспетчерських служб. Цей спосіб найбільш доцільний в умовах безперервної роботи газопроводу.

Принцип методика визначення статичних характеристик елементів газопостачання полягає в тому, що на вході елементу змінюють значення вхідної величини спочатку в зростаючому порядку (прямий хід), потім в спадаючому (зворотний хід), захоплюючи при цьому увесь робочий діапазон. Значення  $x_{вх}$  і  $x_{вих}$  для кожного елементу вимірюють і будують графік  $x_{вих} = f(x_{вх})$ , який і буде статичною характеристикою між

цими величинами. За результатами експерименту встановлюють діапазон можливої роботи елемента, норму чутливості, відхилення від лінійності, розкид параметрів і т. д. При необхідності експеримент проводять декілька разів і результати обробляють методом найменших квадратів. Статичні характеристики можуть бути лінійними, наприклад

$$x_{вих} = a + k x_{вх}$$

Залежність між величинами  $p_{вх}$  і  $Q^2$  при  $p_{вих} = \text{const}$  ділянки газопроводу є лінійною, оскільки

$$p_{вх}^2 - p_{вих}^2 = A Q^2, \text{ звідси } p_{вх}^2 = A Q^2 + p_{вих}^2.$$

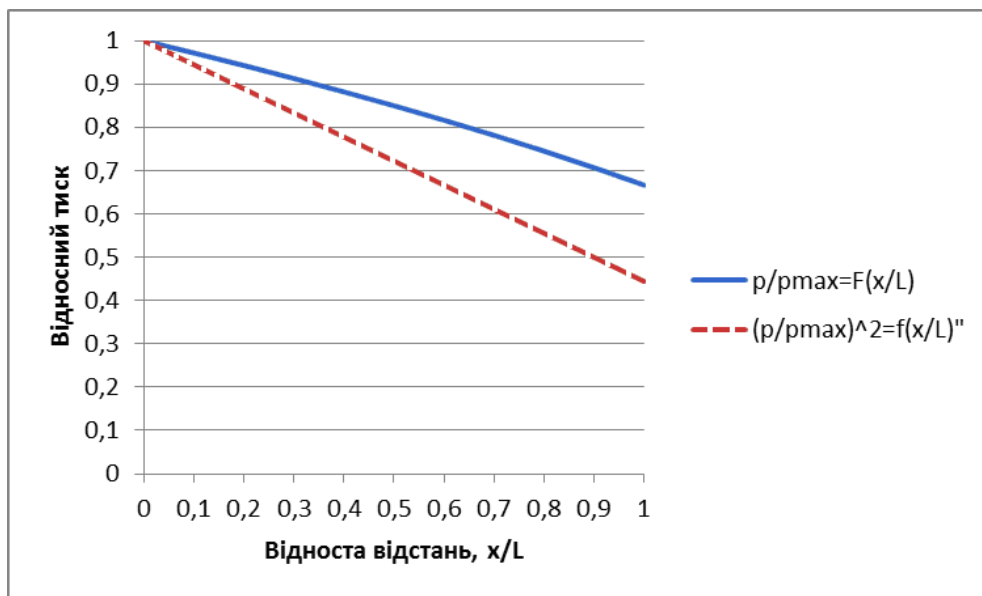


Рис. 1. Статистична характеристика ділянки газопроводу та її лінеаризація

При пасивному методі найчастіше доводиться застосовувати згладжування або статичну обробку результатів експериментів. Якщо дані експерименту розкидані, то згладжують отримані дані для пригнічення впливу випадкових перешкод. Найчастіше для цього використовують метод ковзаючого середнього і метод згладжування четвертими різницями. Для отриманої або згладженої характеристики прагнуть підібрати просту аналітичну залежність, користуючись графіками. Наприклад, маємо розташування точок, близьке до статичної функції  $y = a x b$ . Заміняючи змінні і логарифмуючи її отримаємо  $lg(y) = lg(a) + b \cdot lg(x)$ , побудуємо графік. При цьому значення  $lg(y)$  розташуються близько до прямої лінії. Для декількох крайніх (наприклад,  $n$ ) значень з одного кінця підсумуємо величини  $y$

$$\lg(y_1) = \lg(a) + b \lg(x_1)$$

+

$$\lg(y_2) = \lg(a) + b \lg(x_2)$$

.....

$$\lg(y_n) = \lg(a) + b \lg(x_n)$$

$$\lg(y_1 + y_2 + \dots + y_n) = n \lg(a) + b \lg(x_1 + x_2 + \dots + x_n).$$

Те ж запишемо для інших  $n$  точок. З двох рівнянь знаходимо  $a$  і  $b$ .

Якщо необхідно точніше розташувати шукану аналітичну залежність, використовують метод найменших квадратів. При великому числі точок його застосування трудомістке, тому використовують програми, що входять у бібліотеку стандартних програм. Якщо є залежність виду  $y=f(x_1, x_2, x_n)$  намагаються зробити розв'язку змінних. Наприклад, цю залежність представляють в лінійному виді

$$y = f(x_1) + f(x_2) + f(x_3) + f(x_n),$$

де

$$f(x_1) = a_1 + a_2 x_1;$$

$$f(x_2) = b_1 + b_2 x_2;$$

$$f(x_3) = c_1 + c_2 x_3;$$

$$f(x_4) = d_1 + d_2 x_4.$$

По значеннях  $y$  і  $x_1$ , знаходять величини  $a_1$  і  $a_2$ , потім визначають  $y_1=y-f(x_1)$ , по значеннях  $y_1$  і  $x_2$  знаходять коефіцієнт  $b_1$  і  $b_2$  і т. д.

Після виключення останньої складової величина функції  $y$  має бути близька до одиниці, що дає можливість судити про точність представленої моделі. Величини  $a_1, a_2$  шукають методом регресійного аналізу. Цей метод досить хороший при оцінці зв'язку місць здобичі і споживання газу. Цей підхід можна перенести на поліноми  $n$ -го порядку. Апроксимуючу функцію визначають у виді

$$y = a_1 + a_2 x_1 + a_3 x_1^2 + \dots + a_n x_1^{n-1} + b_1 + b_2 + b_2 x_2 + \dots$$

і повторюють описану вище процедуру. Іноді зв'язок між параметрами записують у виді

$$y = C f(x_1) f(x_2) f(x_3) \dots,$$

де

$$f(x_i) = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + \dots + a_m x_i^m.$$

Функції  $f(x_i)$  знаходять у міру того, як виключається вплив кожного з параметрів  $x_i$  на змінну  $y$ . Спочатку визначають  $C$  – середнє значення  $y$ . Потім знаходять  $y_1=y/C$  і для  $y_1$  і  $x_1$  будують кореляційну таблицю і емпіричну лінію регресії, яка апроксимується за допомогою методу найменших квадратів. За коефіцієнтами  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , знаходять функції і визначають регресійну залежність між величинами  $y_2$  і  $x_2$  і т. д.

Значення  $y_n$  має бути близьке до одиниці; якщо цього не відбувається, потрібний перерахунок з більшою точністю.

Цей підхід використовувався для отримання характеристик компресорних агрегатів статистичними методами.

Під динамічними характеристиками елементів газопостачання розуміють математичний опис цих елементів в окремому випадку нестационарних режимів (у перехідному режимі), задане у виді:

- диференціального рівняння;
- кривих зміни вихідної величини при поданні на вхід системи збурюючої дії спеціальної форми;
- функцій частоти, що називаються частотними характеристиками.

Динамічні характеристики також можуть бути отримані активним або пасивним експериментом. Між різними записами динамічних характеристик є певні закономірності.

Перехідною або тимчасовою функцією (характеристикою) називають реакцію елементів системи газопостачання на стрибкоподібну зміну вхідної величини, наприклад тиску. Знаючи перехідну характеристику  $h(k)$ , можна через інтеграл згортання визначити положення системи при будь-якій дії у будь-який момент часу

$$y(t) = z(0)h(t) + \int_0^t \frac{dx(\tau)}{d\tau} h(t-\tau) d\tau.$$

Якщо на вхід системи подати одиничну амплітудну дію, то така характеристика називається імпульсною перехідною. Вона є похідною від перехідної характеристики  $g(t) = dh(t)/dt$ . Інтеграл згортання в цьому випадку записується у виді

$$y(t) = \int_0^t q(t)h(t-\tau) d\tau = \int_0^t g(t-\tau)h(\tau) d\tau.$$

За імпульсною характеристикою можна побудувати перехідну характеристику. Ця методика використана для задач еквівалентування рівнянь неусталеного руху газу.

Іноді використовують для отримання динамічних характеристик типову дію  $x = kt$ , тобто постійна зміна величини  $x$  (швидкісний стрибок), або  $x = kt^2$ , тобто стрибок прискорення.

Тимчасові характеристики отримують тільки безпосередньо на об'єкті активними методами, що не завжди можливо.

Найчастіше динамічні характеристики визначають з використанням частотних методів. Частотною характеристикою називається відношення вихідної величини до значень вхідної гармонійної дії, що розглядається як функція частоти вхідної дії. Якщо основні параметри системи не змінюються в часі, то амплітудно-фазова частотна характеристика

тика (АФЧХ) є відношенням перетворення Фур'є вихідної величини до перетворення Фур'є вхідної дії:

$$\Phi(j\omega) = \frac{H(j\omega)}{F(j\omega)}.$$

Нехай система описується рівнянням

$$a_0 \frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dx}{dt} + a_n x = b_0 \frac{d^m y}{dt^m} + \dots + b_{m-1} \frac{dy}{dt} + b_m y.$$

Застосовуючи перетворення Фур'є до лівої і правої частинам цього рівняння, отримуємо за нульових початкових умов:

$$a_0 (j\omega)^n + a_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + a_{n-1} (j\omega) + a_n x(j\omega);$$

$$b_0 (j\omega)^m + b_1 (j\omega)^{m-1} + \dots + b_{m-1} (j\omega) + b_m x(j\omega).$$

Тоді відношення

$$\frac{y(j\omega)}{x(j\omega)} = \frac{a_0 (j\omega)^n + \dots + a_n}{b_0 (j\omega)^m + \dots + a_m}$$

дасть нам амплітудно-фазову характеристику елементу. При цьому поліноми знаменника і чисельника можна розбити на множники виду

$$a_1 (Tj\omega + 1); \quad (T^2 \omega^2 + 2Tj\omega + 1)$$

і так далі, де  $T$  – постійна, така, що має розмірність часу.

АФЧХ розраховують, розбиваючи вираз  $\Phi(j\omega)$  на уявну і неуявну частини  $\Phi(j\omega) = \text{Re}(\omega) + j \text{Im}(\omega)$  і визначаючи значення  $\text{Re}(\omega)$  і  $\text{Im}(\omega)$  в діапазоні величини  $\omega$  від 0 до  $\infty$ . При цьому по осі абсцис відкладається величина  $\text{Re}(\omega)$ , по осі ординат –  $\text{Im}(\omega)$ . Величина  $\text{Re}(\omega)$  є дійсною частотною характеристикою (ДЧХ), величина  $\text{Im}(\omega)$  – уявною (УЧХ). Графік вектору  $U(\omega) = \sqrt{\text{Re}^2(\omega) + \text{Im}^2(\omega)}$  називають амплітудною частотною характеристикою (АЧХ), графік кута  $\varphi(\omega) = \arctg \frac{\text{Im}(\omega)}{\text{Re}(\omega)}$  дає фазову частотну характеристику (ФЧХ).

Амплітудно-частотна характеристика показує, як затухає гармонійна дія виду  $U^* \sin(Wt)$ , що проходить через систему. На виході системи отримуємо сигнал

$$y(t) = U(\omega) \sin(\omega t + \varphi),$$

де величина  $U(\omega) < U$  для промислових об'єктів найчастіше зменшується із зростанням частоти  $\omega$ . Кут  $\varphi$  називається кутом фази або зміщенням ( $Z$ ) і також залежить від властивостей системи і частот.

Частотні методи аналізу процесів досить прості, допускають спрощені рішення, дозволяють отримати зручні розрахункові формули. Застосуємо розглянуті методи для визначення частотного діапазону роботи трубопроводу, який дає можливість оцінити число членів ряду в рішеннях нестационарних режимів.



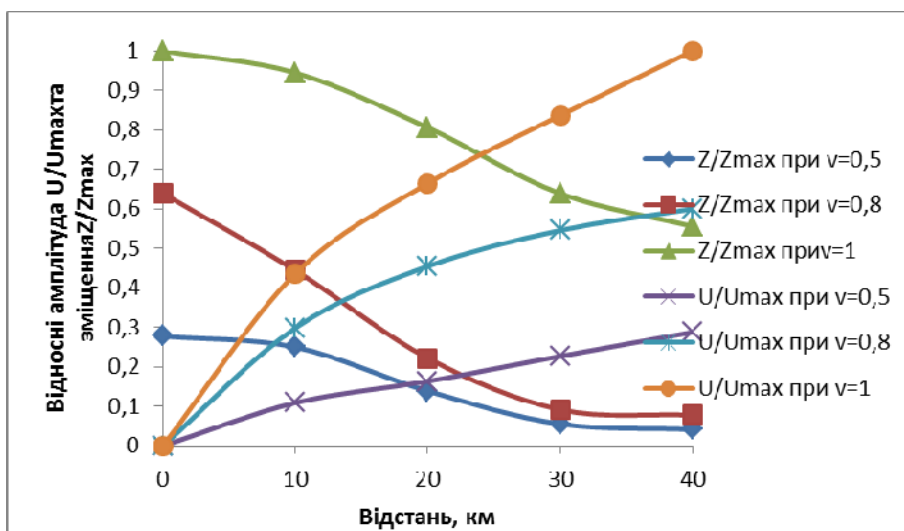


Рис. 2. Амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики газопроводу

При аналізі використовуватимемо відомі рівняння руху газу та нерозривності у вигляді:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{k}{F} G;$$

$$-\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{c^2}{F} \cdot \frac{\partial}{\partial x} G,$$

де  $G = \rho v_{cp}$  – масова витрата в трубопроводі;  $v_{cp}$  – осереднена швидкість газу,  $F$  – площа поперечного перерізу труби,  $k$  – коефіцієнт лінеаризації.

В наведеній системі рівнянь нехтується інерційними втратами енергії, тому вона справедлива для досить довгих трубопроводів ( $d/l < 5 \cdot 10^{-4}$ ). Для тиску маємо:

$$\frac{\partial p}{\partial t} - \frac{c^2}{k} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0.$$

Застосовуючи перетворення Лапласа за умов

$$p(x,0) = 0; \quad p(0,t) = p_0(t); \quad p(l,t) = p_1(t),$$

отримуємо

$$p(x,s) = U_1(x,s)p_0(s) + U_2(x,s)p_1(s),$$

де

$$U_1(x,s) = ch \, x \sqrt{\frac{sk}{c^2}} \left( 1 - \frac{thx \sqrt{\frac{sk}{c^2}}}{thl \sqrt{\frac{sk}{c^2}}} \right);$$

$$U_2(x, s) = \frac{shx \sqrt{\frac{sk}{c^2}}}{shl \sqrt{\frac{sk}{c^2}}}$$

$s$  – оператор диференціювання  $d/dt$

Представляючи  $s = j\omega$ , отримуємо функцію  $U(x, j\omega)$ . Тоді можна побудувати амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики

$$U(\omega) = |U(j\omega)|$$

$$Z = \varphi(\omega) = \arg U(j\omega).$$

На рис. 2 АЧХ і ФЧХ побудовані для  $x/l = 0,8$  і  $x/l = 0,5$  при різних значеннях величини  $\mathcal{G} = l^2 \omega k / c^2$ . Як бачимо, при значеннях  $\mathcal{G} < 1$  похибка по амплітуді складає менше 5%. Це означає, що при аналізах режимів можна обмежитися коливаннями в газопроводі при частотах

$$\omega_H > \frac{c^2}{l^2 k} = \frac{c^2 2D}{l^2 \lambda v_{cp}}.$$

Для газопроводу діаметром 1420x20 мм і довжиною 100 км при середній швидкості газу 10 м/с і коефіцієнті гідравлічного опору  $\lambda = 0,01$  отримуємо (газ метан середня температура 295K)

$$\omega_H = \frac{460^2 \cdot 2 \cdot 1,38}{10^{10} \cdot 0,01 \cdot 10} = 2,1 \text{ 1/год.}$$

Виходячи з того, що коливання в газопроводі з точністю до 3-6% апроксимуються шістьма-восьмома рядами Фур'є, можна оцінити частотний діапазон роботи газопроводу (від  $\omega_H$  до  $\omega \approx 10 \omega_H$ ) або для магістральних газопроводів при  $D > 0,5$  і  $l > 50$  км. Оцінка діапазону частот лежить в межах від 0,1 до 20 1/год, що відповідає періоду  $T$  від 62,8 до 0,3 год.

Використання частотних методів, який розглянутий в задачах застосування методів імпедансу при розрахунках нестационарних процесів, для оцінки частотного діапазону роботи газопроводу, отримання спрощених методів аналізу режимів газопроводу, чисельних способів звернення операційних рівнянь, при аналізі роботи газопроводу методами статистичної динаміки, рівнянь неусталеного руху газу по газопроводу.

### Література

1. Трубопровідний транспорт газу / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін. – К.: АренаЕКО, 2002. – 600с.
2. Яковлев Е.И. Анализ неуставившихся процессов в нитках магистрального газопровода статистическими методами / Е.И. Яковлев // Изв.вузов. Нефть и газ. – 1968. – № 2. – С. 72-76.

3. Гухман А.А. Введение в теорию подобия /А.А. Гухман. –М.: Высшая школа, 1973 – 332 с.
4. Трубопроводный транспорт газа / С.А. Бобровский, С.Г. Щербаков, Е.И. Яковлев и др. – М.: Наука, 1976. – 491 с.
5. Roth Neinz. Schwingungsmessungen an Turbinen-schaufeln mit optischen Methoden Brown Boveri Mitt. – 1977. – 64, № 1.– P. 64-67.
6. Molenda J. Gaz ziemny / J. Molenda. – Katowice: Slask, 1974. – 470 p.  
*Стаття надійшла до редакційної колегії 20.12.2017 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Тимківим Д.Ф.  
д.т.н., професором Говдяком Р.М. (м. Київ)*

## DETERMINATIVE METHODS OF OPTIMIZATION OF GAS TRANSPORT SYSTEMS OPERATING MODES

**V. Ya. Grudz, V. Ya. Grudz (junior)**

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;  
76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str., 15;  
e-mail: snp@nung.edu.ua*

*Methods of creating mathematical models of technological processes of gas transportation by systems of main gas pipelines are considered, characteristics of principles of modelling of stationary and non-stationary processes are given.*

**Key words:** *mathematical model, methods of realization, amplitude-frequency characteristics*