

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТИ МЕХАНІЧНОГО ПРИСТРОЮ В ГАЗОПРОВОДІ

¹В.Я.Грудз, ²Р.М.Терефенко

¹ ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157
e-mail: public@nung.edu.ua

² ГАЛНАФТОГАЗ, 76000, м. Івано-Франківськ, вул. Короля Данила, 16 б, тел. (0342) 714078,
e-mail: halnftogaz@mail.ru

Предложен метод определения места остановки механического устройства в газопроводе, основанный на реализации разработанной математической модели нестационарного колебательного процесса в результате импульсного воздействия на газовый поток.

The method of location stop of mechanical device in a gas pipeline, based on realization of the developed mathematical model of swaying transient as a result of impulsive influence on a gas stream, is offered

З метою визначення місця зупинки механічного пристрою в газопроводі пропонується метод імпульсного впливу на даний потік у трубопроводі. Імпульс тиску на початку газопроводу створюється шляхом з'єднання його порожнини з невеликим за геометричним об'ємом ресивером, наповненим газом до високого тиску. Короткочасний вплив імпульсу тиску на газовий потік в трубопроводі викличе в ньому коливний процес з розповсюдженням ударної хвилі вздовж газопроводу до місця зупинки механічного пристрою, що слугуватиме екраном-відбивачем хвилі. Відбита хвиля розповсюджуватиметься в зворотному напрямку з швидкістю звуку в газі і за певний проміжок часу досягне початкового перерізу, де буде зареєстрована відповідним самопишучим приладом. Вважаючи швидкість хвилі в прямому та зворотному напрямках сталою і рівною $c = \sqrt{kRT}$ [1], можна за відомим часом τ , виміряним за картограмою запису коливаний тиску, визначити відстань до екрану $x = \frac{1}{2}c\tau$, тобто відстань до пристрою, що зупинився.

Технічна реалізація методу не викликає труднощів. У разі зупинки пристрою в газопроводі необхідно, регулюючи подавання газу на початку трубопроводу, встановити квазістационарний режим газового потоку. За допомогою перемички з краном під'єднати до газопроводу ресивер об'ємом в 10–20 разів меншим за геометричний об'єм газопроводу. При закритому крані перемички заповнити ресивер газом до тиску, що в 5–10 разів перевищує тиск на початку газопроводу. Діаметр перемички з краном, об'єм ресивера і тиск в ресивері повинні бути вибрані таким чином, щоб імпульс тиску (випорожнення ресивера в газопровід) тривав 15–20 с. Цей час випорожнення ресивера за практичного режиму витікання може бути розрахований (наближено) за формулою Сен-Венана-Венцеля [2].

На рис. 1 зображено приклад запису картограми колювання тиску в часі на початку газо-

проводу в умовах експериментальної установки. Як видно з графіка, після надходження імпульсу тиску коливний процес на початку газопроводу має згасаючий характер, характерний для процесу розповсюдження ударної хвилі вздовж трубопроводу до екрану-відбивача. З деякого моменту часу амплітудні максимуми починають зростати, що характерно для процесу розповсюдження відбитої хвилі, і в певний момент часу досягають екстремального рівня, характерного для прибуття відбитої хвилі до початку трубопроводу.

З метою реалізації методу на практиці і вибору відповідних вимірювальних приладів необхідно створити математичну модель нестационарного коливного процесу, під час побудови якої будемо керуватися такими міркуваннями.

Нехай на початку ділянки газопроводу підтримується стала масова витрата газу m_1 , а в кінці ділянки (в точці зупинки механічного пристрою) при $x=L$ – також стала масова витрата газу m_2 . Загалом ці витрати різні, тобто $m_1 \neq m_2$. Вздовж осі газопроводу підтримується сталий тиск P_0 , який не змінюється вздовж осі трубопроводу внаслідок невеликих значень витрат $m_1 \neq m_2$. В певний момент часу t_0 в точці газопроводу $x=x_0$ (неподалік початку газопроводу) на потік діє імпульс тиску величиною P і тривалістю Δt . Необхідно визначити характер зміни тиску в газопроводі, що викликана дією імпульсу тиску. В основу математичної моделі покладене рівняння руху газу, яке включає імпульс тиску, витрати енергії на тертя і інерційні витрати та одновимірне рівняння нерозривності

$$-\frac{\partial P}{\partial x} + P\Delta t\delta(x-x_0)\delta(t-t_0) = \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\lambda\omega}{2d}(\rho\omega)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial t} = c^2 \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial x},$$

де: $P = P(x, t)$ – тиск газу як функція лінійної координати і часу t ;

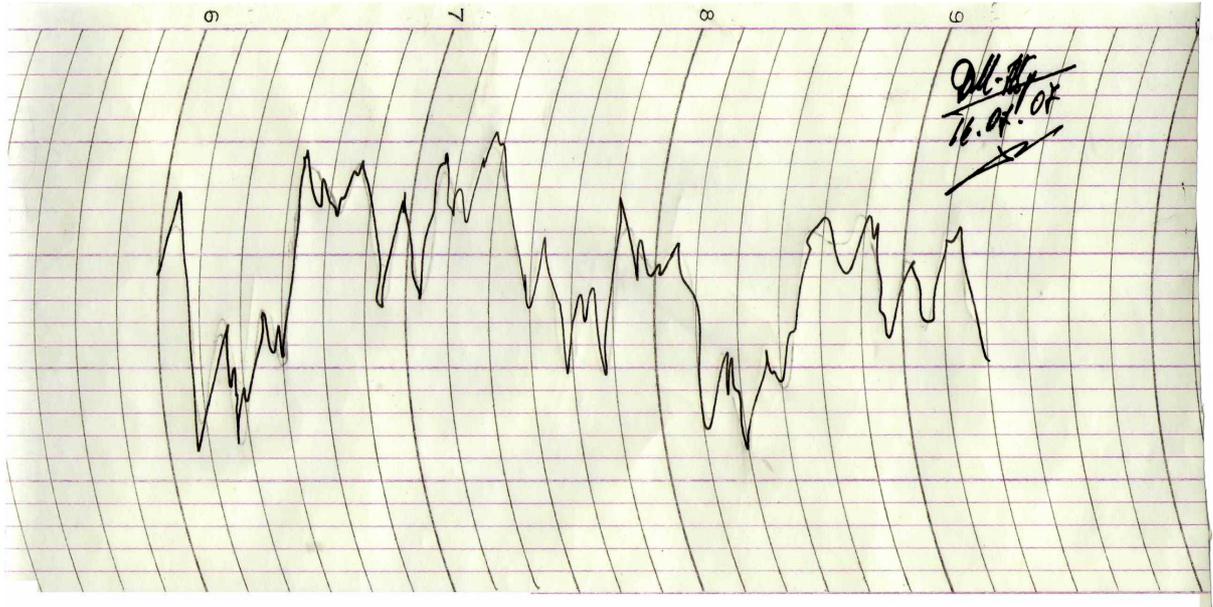


Рисунок 1 — Картограма коливань тиску

$\delta(x - x_0)$ – функція джерела Дірака, що діє в точці $x = x_0$;

$\delta(t - t_0)$ – функція джерела Дірака, що діє в момент часу t_0 ;

ρ – густина газу;

ω – лінійна швидкість газу;

d – діаметр газопроводу внутрішній;

λ – коефіцієнт гідравлічного опору газопроводу.

Початкові умови для реалізації моделі мають вигляд

$$t=0, \quad P(x,0) = P_0; \quad \left. \frac{\partial P}{\partial t} \right|_{t=0} = 0. \quad (1)$$

Граничні умови запишемо, виходячи з міркувань, що з огляду на невелике значення масових витрат m_1, m_2 інертними втратами на границях області можна знехтувати. Тоді з лінеаризованого рівняння руху маємо:

$$\left. \begin{aligned} x=0 \quad \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=0} &= -\frac{\lambda w}{2dF} m_1 = -\mu m_1 \\ x=L \quad \left. \frac{\partial P}{\partial x} \right|_{x=L} &= -\frac{\lambda w}{2dF} m_2 = -\mu m_2 \end{aligned} \right\} (2)$$

де $F = \frac{\pi d^2}{4}$ – площа поперечного перерізу трубопроводу.

Реалізація математичної моделі за початкових (1) і граничних (2) умов дасть змогу одержати тиск в газопроводі у вигляді функції часу і лінійної координати у вигляді

$$P(x,t) = P_0 \frac{2aL}{F} \left(m_1 - \frac{m - m_2}{L} x \right) \cdot \sin \frac{\pi n x}{L} + \quad (3)$$

$$+ \frac{4ac^2}{V} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m_1 + (-1)^n m_2}{2a^2 + \omega_n^2} \cos \frac{\pi n x}{L} \times$$

$$\times \left[1 - e^{-at} \left(\cos \sqrt{\omega_n^2 - a^2} t - \frac{a}{\sqrt{\omega_n^2 - a^2}} \sin \sqrt{\omega_n^2 - a^2} t \right) \right] +$$

$$+ \frac{4P\Delta t c^2}{L} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \sqrt{\omega_n^2 - a^2} t}{\sqrt{\omega_n^2 - a^2}} e^{-at} \cos \frac{\pi n x}{L} \cos \frac{\pi n x_0}{L}$$

де: $V = FL$ – об'єм трубопроводу

$$a = \frac{\lambda \omega}{4d}; \quad \omega_n = \frac{\pi^2 n^2 c^2}{L^2}.$$

На основі (3) проведемо аналіз газодинамічного процесу в газопроводі за умов реалізації запропонованого методу для випадку застрягання очисного поршня в процесі очищення ділянки газопроводу Комарно – Дроздовичі після капітального ремонту. На рис. 2 зображено графіки розповсюдження ударної хвилі для випадку застрягання очисного поршня на позначці 3,6 км.

На графіку чітко видно момент часу, що відповідає поверненню відбитої хвилі. Він складає 16,36 с. Тоді при визначеній швидкості звуку в газі відстань до місця зупинки очисного пристрою за прогнозом складала

$$x = \frac{1}{2} ct = \frac{1}{2} 440,53 \cdot 16,36 = 3603,5 \text{ м.}$$

Порівняно з фактичною відстанню, яка була закладена в розрахунок за моделлю (4.68), похибка методу складає

$$\delta_x = \frac{3608 - 3603,5}{3608} \cdot 100 = 0,093\%.$$

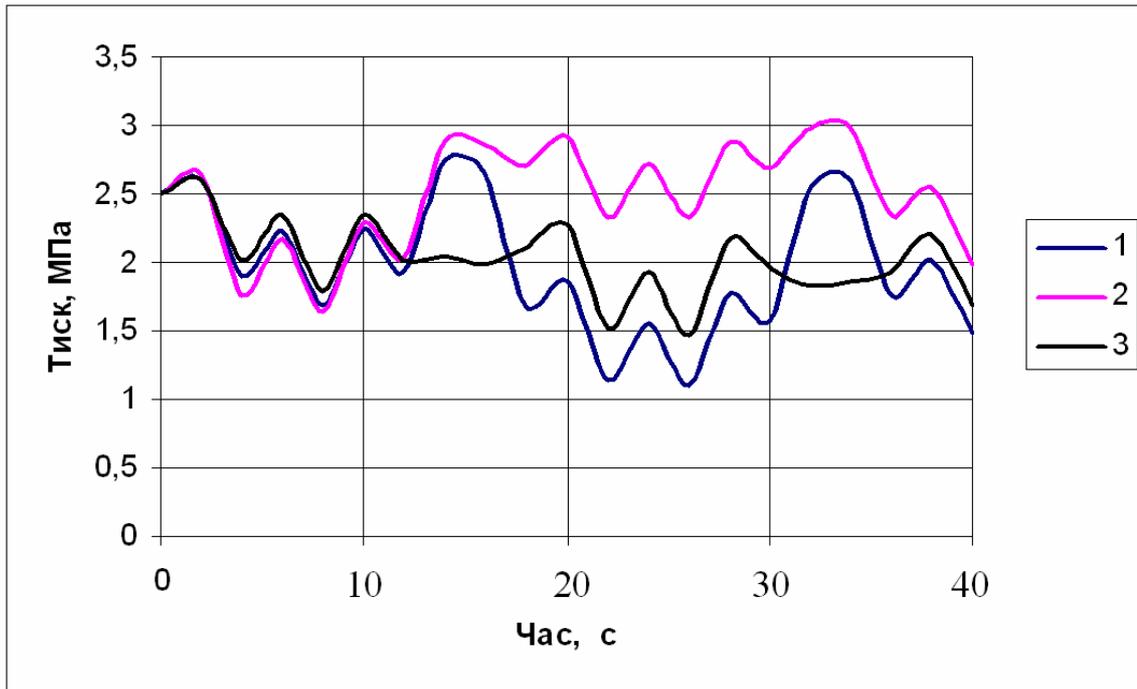


Рисунок 2 – Характер коливання тиску в газопроводі

Слід зауважити, що ця похибка враховує лише неточності, закладені під час побудови моделі, і не враховує похибок вимірювальних приладів, які також матимуть місце.

Для оцінювання впливу значення витрати газу в місці закупорювання було зменшено її значення до 5 кг/с, що призвело до отримання значення середньої швидкості 2,4 м/с і коефіцієнта лінеаризації $2\alpha=0,234$ 1/с.

При цих значеннях за інших ідентичних умов проведено аналогічні розрахунки за моделлю, результати яких засвідчили, що графіки коливного процесу відрізняються від попередніх на величину до 0,01%, що практично не змінює величини часу повернення відбитої хвилі. Цей факт пояснюється надзвичайно незначним впливом сил горизонтального тертя під час руху газу в газопроводі з такими малими витратами на характер коливного процесу, для якого першочергову роль відіграють сили інерції.

Для оцінювання точності методу було проведено розрахунки за моделлю для відстані до поршня на 100 м більшої за фактичну (тобто 3708 м) і для відстані на 20 м більшої за звичайну (тобто 3628 м). Решта вихідних даних для реалізації моделі були такими ж, як і для попереднього розрахунку. За результатами реалізації моделі побудовано графіки, зображені на рис. 2. В першому випадку час повернення відбитої хвилі склав 16,77 с, що відповідає прогнозній відстані до очисного поршня.

$$x = \frac{1}{2} \cdot 440,53 \cdot 16,77 = 3693,9 \text{ м.}$$

Похибка обчислень:

$$\delta_x = \frac{3708 - 3693,1}{3708} = 0,109\%.$$

В другому випадку час повернення відбитої хвилі склав 16,46 с, що відповідає прогнозній відстані до очисного поршня

$$x = \frac{1}{2} \cdot 440,53 \cdot 16,46 = 3625,5 \text{ м.}$$

Похибка обчислень:

$$\delta_x = \frac{3628 - 3625,5}{3628} = 0,07\%.$$

Таким чином, похибка методу моделювання не перевищує 0,1% в бік заниження результату.

Література

- 1 Вольський Э.Л., Константинова И.М. Режимы работы магистрального газопровода. – М.: Недра, 1970. – 168 с.
- 2 Трубопроводный транспорт газа / М.П.Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін. – К.: АренаЕКО, 2002. – 600 с.