

Література

- 1 Середюк М.Д., Якимів Й.В., Лісафін В.П. Трубопровідний транспорт нафти і нафтопродуктів: Підручник. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 517 с.: іл.
- 2 Мороз А.А. Оценка технического состояния и остаточного ресурса нефтепроводов по результатам диагностики: Автореф. дисс. докт. техн. наук. – Уфа, 2003. – 44 с.
- 3 Василюк В.М. Підвищення надійності роботи магістральних нафтопроводів ВАТ “Укртранснафта” // Вісник НГСУ. – 2004. – №4. – С. 11-14.
- 4 Івасів В.М., Говдяк Р.М., Івченко О.Г., Лопушанський А.Я., Кравець О.А., Дрогомирецький М.М., Василюк В.М., Ільницький Р.М., Артими В.І. Процес визначення залишкового ресурсу нафтогазопроводів та збільшення нормативного терміну їх експлуатації. – Патент України на корисну модель №18066. – Опубл. 16.10.06. – Бюл. № 10.
- 5 Почтенный Е.К. Кинетика усталости машиностроительных конструкций. – Минск: УП “Арти – Фекс”, 2002. – 186 с.
- 6 Івасів В., Артими В., Смоляк Т., Козак О., Нікітюк В. Методика оцінки втомної довговічності та залишкового ресурсу великогабаритних деталей з допомогою локальних моделей // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2005. – № 1. – С. 19-24.
- 7 Івасів В.М., Артими В.І., Смоляк Т.І., Нікітюк В.М. Прогнозування залишкового ресурсу магістральних газопроводів з допомогою моделей-“вирізків” // Обеспечение эксплуатационной надежности систем трубопроводного транспорта: Сборник докладов научно-практического семинара. – Киев: Экотехнология, 2005. – С. 7-8.
- 8 Крижанівський Є.І., Івасів В.М., Чернов Б.О., Ільницький М.К. Вибір і дослідження моделей підводних трубопроводів // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – 1999. – № 36 (Том 4). – С. 109-114.

УДК 622.692.4

РОЗРАХУНОК ТРИВАЛОСТІ ПРОЦЕСУ ВИПОРОЖНЕННЯ ДІЛЯНКИ ГАЗОПРОВОДУ З ПЕРЕСІЧЕНИМ ПРОФІЛЕМ ТРАСИ

Ю. Г. Мельниченко

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15,
informatik@nung.edu.ua

Приведены методы расчета длительности процесса и потерь газа при опорожнении участка магистрального газопровода с пересеченным профилем трассы. Предложен метод сокращения длительности процесса опорожнения участка газопровода с пересеченным профилем трассы.

The method of calculation of gas pipeline section emptying time, dependent on the pipeline section profile is represented. The method of calculation of natural gas losses during pipeline section emptying is represented. The method of the emptying time reduction for the pipeline section with hard cross profile is proposed.

Впродовж періоду експлуатації магістральних газопроводів трапляються випадки порушення герметичності її лінійної частини. Умовно такі ситуації можна поділити на дві групи: аварійні та планові. До аварійних можна віднести свищі, витоки або повні розриви лінійної частини. До планових заходів, пов'язаних з розгерметизацією лінійної частини, можна віднести повне або часткове випорожнення ділянки газопроводу для виконання на них ремонтних робіт, продування ділянки газопроводу у випадку заповнення останньої газом та інші [1].

У випадку будь-якого витоку на газопроводі важливо вміти розв'язати такі задачі: визначення часу випорожнення до заданої міри ділянки газопроводу; визначення кількості втраченого газу внаслідок його вільного витоку в атмосферу; визначення кількості газу в випорожнювальній ділянці в будь-який момент часу. Оскільки масова витрата, з якою відбувається випорожнення ділянки, є величина, залежна

від тиску (тобто змінна в часі), то для вирішення поставлених задач при виведенні математичних залежностей для параметрів газового потоку необхідно розглядати нестационарний рух газу.

В даному напрямку проведено певні дослідження [2,3], однак у згаданих працях модель газового потоку не враховує гравітаційної складової масових сил, що діють на контрольний об'єм газу. Частина газопроводів української газотранспортної системи прокладена в гірській місцевості. Перепади геодезичних позначок осі газопроводу в деяких точках перевищують 100 м, тому є зміст включати гравітаційну складову в систему рівнянь руху газу [4].

Запишемо рівняння динаміки газу, які відображають закон збереження маси, кількості руху та енергії для контрольного об'єму газу в одномірному нестационарному газовому потоці [6].

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho w) &= 0; \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho w^2)}{\partial x} &= -\frac{\partial p}{\partial x} - \rho \frac{\xi \cdot w |w|}{2 \cdot D} - \rho g \frac{dh}{dx}; \\ \rho \frac{\partial(e)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho w \left(e - \frac{p}{\rho} \right) \right) &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \\ + \frac{2\alpha}{R C_p} (T_{cm} - T) - \rho g w \frac{dh}{dx}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де: p, w, ρ – відповідно тиск, лінійна швидкість і густина газу в газопроводі як функції часу t і лінійної координати x ; ξ – коефіцієнт гідравлічного опору; e – повна енергія одиниці маси газу; α – коефіцієнт теплопередачі від газу до стінки труби; R – внутрішній радіус труби; h – геодезична позначка осі трубопроводу.

Для точнішого опису процесу теплопередачі між газом та оточуючим газопровід середовищем, доповнимо систему рівнянь (1) рівнянням теплопровідності [3]

$$\frac{\partial T_{cm}}{\partial \tau} = a_{cm} \frac{\partial^2 T_{cm}}{\partial x^2} + \frac{2R\alpha}{(R_{cm}^2 - R^2) C_{cm} \rho_{cm}} \times (T - T_{cm}) + \frac{2R_{cm} \alpha_{cm}}{(R_{cm}^2 - R^2) C_{cm} \rho_{cm}} (T_{nc} - T_{cm}), \quad (2)$$

де: $c_{cm}, \lambda_{cm}, \rho_{cm}, T_{cm}$ – відповідно теплоємність, теплопровідність, густина і температура матеріалу труби; α_{cm} – коефіцієнт теплопередачі від стінки труби в оточуюче газопровід середовище; R_{cm} – зовнішній радіус ділянки газопроводу; a_{cm} – коефіцієнт температуропровідності стінки.

Доповнивши систему рівнянь (1)-(2) рівнянням стану газу, отримаємо замкнуту систему координат для визначення основних параметрів газового потоку.

Оскільки система диференціальних рівнянь (1)-(2) нелінійна, то необхідно її розв'язувати одним з двох шляхів: лінеаризацією диференціальних рівнянь (1)-(2) [1,2], або з використанням ітераційних методів. Враховуючи стрімкий розвиток обчислювальної техніки, актуальними на сьогодні є ітераційні методи розв'язування систем нелінійних диференціальних рівнянь, зокрема метод кінцевих різниць[6].

Згідно зі згаданим методом, часткові похідні замінюються їх різницевиими аналогами. Побудуємо різницеву схему рівнянь (1)-(2), використовуючи позначення, наведені в [8]. Ввівши в систему рівнянь замість швидкості потоку масову витрату газу, отримаємо таку різницеву схему системи (1)-(2):

$$M_t = -w M_x - \frac{\pi D^2}{4} P_x - \frac{\xi |w|}{2D} M - g \frac{\pi D^2}{4} \rho h_x; \quad (3)$$

$$P_t = -\frac{4}{\pi D^2} M_x - \frac{\partial \rho / \partial T}{\partial \rho / \partial p} T_t; \quad (4)$$

$$\rho C_p T_t + \rho C_p w T_x = \lambda T_{xx} + \frac{\partial \lambda}{\partial T} T_x + \frac{\partial \lambda}{\partial P} P_x + \rho g w h_x + \frac{4\alpha_1 \pi D}{\pi D^2} (T_{OC} - T). \quad (5)$$

$$C_{cm} \rho_{cm} T_{cm,t} = \lambda_{cm} T_{cm,tt} + \frac{\pi D \alpha_1}{\pi D_3^2 / 4} (T - T_{cm}) + \frac{\pi D_3 \alpha_2}{\pi D_3^2 / 4} (T_{OC} - T_{cm}). \quad (6)$$

Дану систему алгебраїчних рівнянь розв'язуємо методом прогонки. Для цього необхідно мати граничні умови. Для ізольованої ділянки граничними умовами є значення витрати на кінцях ділянки. Оскільки у процесі випорожнення або продування газопроводів відбувається вільний витік газу в навколишнє середовище, то, враховуючи відносно невеликий тиск та температуру газу для нього (як ідеального), правомірно застосувати формули Сен-Венана-Венцеля для визначення масової витрати, які мають такий вигляд [2]

$$\text{- якщо виконується умова } \frac{p_0}{p_1} \geq \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}},$$

то

$$M = F_0 \sqrt{\frac{2k}{k-1} \rho_1 p_1 \left[\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (7)$$

де: F_0 – площа отвору; k – стала Больцмана для газу; p_1 – тиск в трубопроводі в точці витікання газу; p_0 – тиск навколишнього середовища.

$$\text{- якщо виконується умова } \frac{p_0}{p_1} < \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}},$$

то

$$M = F_0 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2k}{k+1} \rho_1 p_1}. \quad (8)$$

За описаним методом було проведено числовий розрахунок процесу випорожнення ділянки газопроводу за вихідними даними, взятими з [2].

Враховуючи сказане вище, прийнято такі граничні умови:

- при $x=0, M(t,0)=0$;
- при $x=l, M(t,l)$ обчислюється за формулами (7) або (8) залежно від властивостей газу в трубопроводі біля продувної свічки.

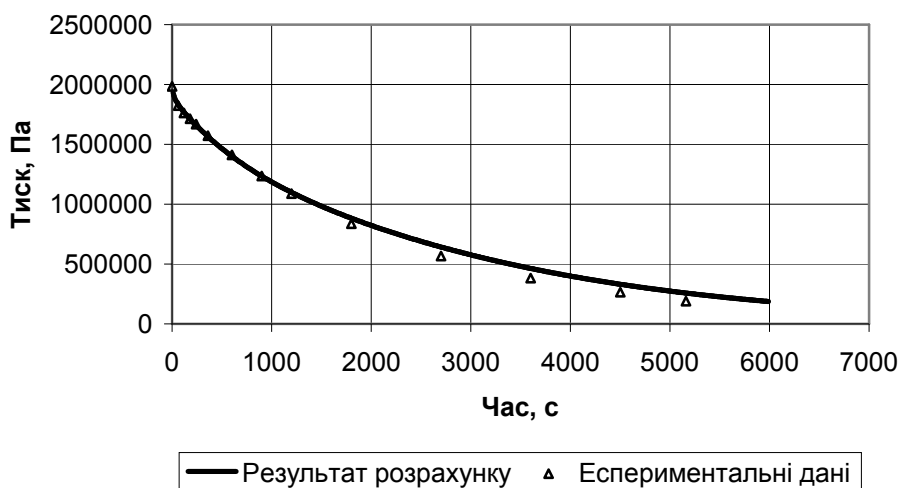


Рисунок 1 — Динаміка тиску в точці підключення продувної свічки

Результати розрахунку та порівняння їх з експериментальними даними зображено на рисунку 1.

Для розрахування кількості втраченого газу внаслідок розгерметизації газопроводу можна скористатись наступною формулою

$$M_{\text{ввт}} = \sum_{i=1}^N M_{\text{ввт}i} \cdot \Delta t, \quad (9)$$

де: $M_{\text{ввт}}$ – маса втраченого газу; $M_{\text{ввт}i}$ – масова витрата через витік в поточний момент часу; i – кількість точок розбиття часу.

Для даного процесу випорожнення ділянки газопроводу маса втраченого газу складає 16184 кг.

Аналогічно кількість газу, що знаходиться в ділянці газопроводу в будь-який момент часу, може бути розрахована за формулою

$$M_{\text{діл}} = \sum_{i=1}^{S-1} \rho_i \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot dx, \quad (10)$$

де: $M_{\text{діл}}$ – маса газу, яку містить в собі ділянка в довільний момент часу; S – кількість точок розбиття ділянки за лінійною координатою.

В момент закінчення розглядуваного розрахунку досліджувана ділянка містила 867 кг газу.

Таким чином, метод визначення параметрів нестационарного газового потоку дає змогу розрахувати тривалість процесу випорожнення та кількість втраченого або акумульованого газу в ізольованій ділянці для будь-якого моменту часу процесу випорожнення ділянок газопроводу, що мають пересічений профіль траси.

Згідно з [1] під час виконання вогневих робіт на ділянці магістрального газопроводу з частковим випорожненням необхідно знизити тиск в місці виконання робіт до значення надлишкового тиску в межах 100-500 Па. При цьому необхідно врахувати можливий перепад тиску між точкою підключення продувної свічки та місцем знаходження витоку, якщо вони знаходяться на різних геодезичних позначках [7].

Розглянемо монотонно нахилену ділянку магістрального газопроводу довжиною 16000 м, діаметром труби та товщиною стінки рівними відповідно 1420 мм і 20 мм, різниця між геодезичними позначками кінцевої та початкової точок ділянки рівна $h_{\text{кін}} - h_{\text{поч}} = -100$ м. В довільній, однак відомій, точці ділянки наявне порушення герметичності газопроводу (витік або розрив труби). Приймаємо атмосферний тиск біля нижньої точки ділянки газопроводу рівним 760 мм рт. ст. (101325 Па). Згідно [7], атмосферний тиск на висоті 100 м над рівнем моря дорівнює 100125 Па.

Припустимо, що на обох кінцях ділянки встановлено по одній продувній свічці з внутрішнім діаметром 273x8 мм. Розглянемо три схеми стравлювання газу:

- випорожнення ділянки відбувається через нижню свічку;
- випорожнення відбувається через верхню свічку;
- випорожнення відбувається через обидві свічки одночасно.

Для кожної схеми кінцем процесу випорожнення вважаємо момент часу, коли в точці порушення герметичності газопроводу (аварійний витік) надлишковий тиск досягне верхньої межі допустимих тисків – 500 Па. Хоча абсолютний тиск в нижній точці ділянки газопроводу є більшим за абсолютний тиск у верхній точці, густина повітря є більшою густини газу за умов, наближених до атмосферних, тому надлишковий тиск в трубі зі зниженням геодезичної позначки осі газопроводу буде теж знижуватись (рис. 2). Тому найшвидше тиск в трубі досягає верхньої межі допустимих значень в найнижчій точці газопроводу.

За умов першої схеми випорожнення ділянки в момент пониження надлишкового тиску в точці випорожнення до значення 500 Па необхідно перекрити свічку в нижній точці ділянки і понизити тиск в точці виникнення витоку через верхню свічку. Така обставина ускладнює сам процес випорожнення, тому таку схему практично

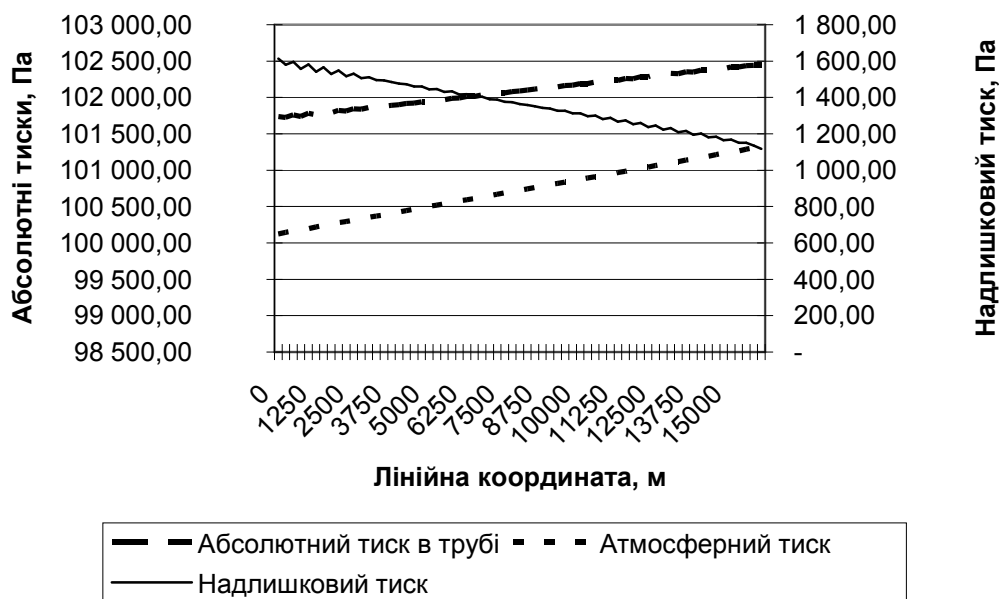


Рисунок 2 - Розподіл тисків по довжині ділянки в момент закінчення випорожнення трубопроводу через нижню продувну свічку

не застосовують. Процес пониження тиску від початкового його значення на початку газопроводу рівному 5 МПа за першою схемою випорожнення тривав 9530 секунд.

У випадку випорожнення ділянки газопроводу через верхню свічку немає необхідності переключення на іншу свічку для випорожнення і процес пониження тиску триває безпосередньо до моменту встановлення в точці порушення герметичності верхньої межі його допустимих значень. Час, протягом якого відбувається випорожнення ділянки з такими ж початковими умовами, як і для першої схеми, через верхню свічку становить 9490 секунд. Враховуючи простоту технології випорожнення ділянки, а також враховуючи те, що випорожнення за другою схемою відбувається швидше, ніж за першою, саме друга схема є прийнята як стандартизована для здійснення процесу випорожнення газу на нахилених ділянках газопроводу [7].

У випадку випорожнення нахиленої ділянки газопроводу за третьою схемою технології приведення тиску в точці порушення герметичності газопроводу є такою ж, як для першої схеми. Однак у разі застосування третьої схеми загальний час випорожнення суттєво скорочується і складає 4750 секунд.

Таким чином, застосовуючи схему з використанням одночасно свічок на двох краях нахиленої ділянки, ми економимо майже половину часу, який ми повинні були б затратити у випадку випорожнення газопроводу через одну свічку. Єдиним недоліком такої схеми є небезпека знизити тиск в трубі біля нижньої свічки до рівня нижче атмосферного. Щоб запобігти виникненню такої ситуації, необхідно починати закривати кран на нижній свічки до моменту досягнення тиском в заданій точці верхньої допустимої межі. Наскільки швидше необхідно

закривати нижню свічку – залежить від технічного стану та технічних характеристик запірного крану на свічі, однак такі дослідження можна віднести до перспективних в даному напрямі.

Література

- 1 Типовая инструкция по безопасному ведению огневых работ на газовых объектах Мингазпрома. МГП СССР, ВНИИгаз, 1988 г.
- 2 Сулейманов В.А. Численный гидравлический расчет опорожнения газопровода через факельное устройство // Известия вузов. Нефть и газ. – 1988. – № 5. – С. 65-71.
- 3 Лурье М.В., Полянская Л.В. Компьютерный расчет потерь газа при разгерметизации газопровода // Газовая промышленность. – 2002. – №11. – С. 42-44.
- 4 Яковлев Є.І., Казак О.С., Михалків В.Б., Тимків Д.Ф., Грузд В.Я. Режимы газотранспортных систем. – Львів: Світ, 1992. – 172 с.
- 5 Мельниченко Ю.Г., Тимків Д.Ф. Особенности розв'язування крайової задачі при розрахунку нестационарних неізотермічних потоків в магістральних газопроводах // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007 – № 1(22). – С. 27-29.
- 6 Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. — М.: Мир, 1990. — 384 с.: ил.
- 7 Нова технологія регулювання тиску залишкового газу під час вогневих робіт на газопроводах зі значними перепадами гіпсометричних позначок // Нафтова і газова промисловість. – 2006. – № 3. – С. 41-43.
- 8 Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. – М.: Наука, 1971. – 554 с.