

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПЕРЕБІГУ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В АВАРІЙНИХ РЕЖИМАХ

Ю. Г. Мельниченко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42166

e-mail: informatik@nung.edu.ua

Досліджено процес витікання газу крізь аварійний дефект в магістральному газопроводі. Визначено межі використання автоматів аварійного закриття кранів для газопроводу діаметром 1400 мм. Для уточнення газодинамічних параметрів у перерізі дефекту запропоновано використовувати тримірну модель, отриману за допомогою газодинамічного програмного комплексу Ansys CFX.

Ключові слова: аварійне витікання, магістральні газопроводи, автомати аварійного закриття кранів, Ansys CFX

Исследован процесс истечения газа сквозь аварийный дефект в магистральном газопроводе. Определены границы использования автоматов аварийного закрытия кранов для газопровода с диаметром 1400 мм. Для уточнения газодинамических параметров в разрезе дефекта предлагается использовать трехмерную модель, полученную с помощью газодинамического программного комплекса Ansys CFX.

Ключевые слова: аварийная утечка, магистральные газопроводы, автоматы аварийного закрытия кранов, Ansys CFX

The accident gas leak on main gas pipeline was discovered. The limits of emergency cock closure devices for the pipelines with nominal diameter 1400 mm were defined. For the gas dynamic parameters specification in accident leaks, the 3D model, made in gas dynamic program complex Ansys CFX, was offered.

Keywords: gas accident leak, gas mains, emergency cock closure devices, Ansys CFX

Режимами роботи газотранспортних систем (ГТС) вважаються сукупності параметрів газового потоку в характерних точках технологічних ємностей магістральних газопроводів у визначені моменти часу.

Аварійними вважаються режими роботи газотранспортних систем, або їх складових частин на проміжку часу від моменту виникнення несправностей або відмов, під впливом яких відбуваються зміни значень режимних параметрів системи до моменту повної стабілізації режимних параметрів ГТС після усунення несправностей та наслідків відмов і виведення ГТС на робочий режим. Такі несправності та відмови, як правило, є наслідками аварій. Аварії на магістральних газопроводах (МГ) можуть виникати як на лінійній частині, так і на інших об'єктах ГТС.

Основними відмовами, які можуть спричинити аварійні режими, є:

- порушення герметичності газопроводу;
- відмова одиниці технологічного обладнання КС;
- відмова систем телемеханіки технологічного обладнання ГТС;
- відмова систем телеметрії технологічного обладнання ГТС;
- несанкціоноване оперування запірною арматурою та ін.

Залежно від стану ГТС, в якому вона перебувала в момент виникнення аварійного режиму, варто виділити аварійні режими, які виникли в процесі експлуатації, ремонту та випробування МГ.

До причин встановлення аварійних режимів, які можуть виникнути в процесі експлуатації МГ можна, віднести:

- порушення герметичності технологічного обладнання ГТС;
- робота нагнітачів в помпажних режимах;
- активізація процесів гідратуутворення, які можуть призвести до часткового або повного закупорювання ділянки МГ.

Розглянемо найпоширеніший вид несправностей – витікання газу.

На інтенсивність перехідних режимів роботи ГТС, викликаних утворенням аварійного витоку, впливають:

- величина витоку;
- робочий тиск в газопроводі;
- масова витрата в газопроводі;
- геометричні характеристики газопроводу (діаметр, довжина, профіль траси) та ін.

Витік можна виявити використовуючи дані вимірювального обладнання, а саме:

- факт локального падіння тиску в околі точки виникнення витоку;
- швидкість локального падіння тиску в околі точки виникнення витоку.

На вітчизняних магістральних газопроводах використовують останню з вказаних характеристик. Як відомо, автомати аварійного закриття кранів (ААЗК) спрацьовують в разі перевищення швидкістю падіння тиску на лінійних кранах значення понад 10-15% протягом 1-3 хв. [1]. Вибір саме такого значення мінімальної швидкості зниження тиску, на яке реагують ААЗК зумовлений тим, що експлуатаційні збурення потоку в газопроводах ніколи не досяга-

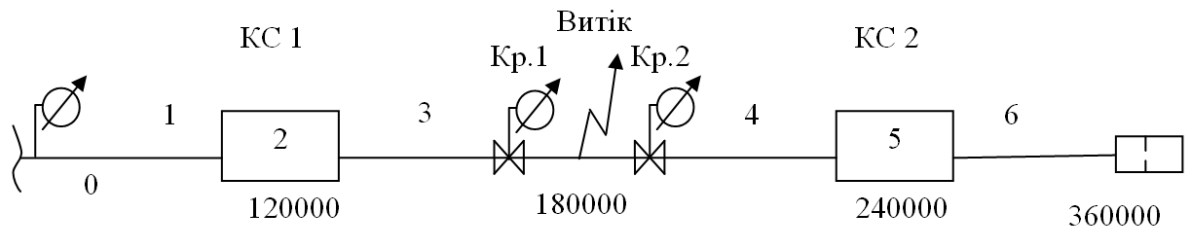


Рисунок 1 – Схема газопроводу з витоком

ють таких швидкостей зміни тиску в газопроводі. Для локалізації ж витоків, внаслідок яких швидкість падіння тиску буде меншою зазначеної, необхідно використовувати спеціальні методи пошуку витоків. Одним з методів локалізації таких витоків є метод на основі моделювання параметрів безаварійної роботи ГТС в режимі реального часу.

Для того, щоб оцінити можливість здійснення контролю за роботою ГТС методом «безперервного» порівняння вимірних та «безаварійних», змодельованих газодинамічним імітатором, параметрів ГТС, необхідно змодельовати цим же імітатором аварійний режим. Постає проблема побудови моделі витoku газу крізь дефект у трубопроводі.

Для визначення масової витрати крім отвір в посудині під тиском (якою до певної міри можна вважати магістральний трубопровід) правомірно використовувати формулу Сен-Венана-Вентцеля [2]:

– якщо виконується умова

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

$$M = \mu_0 F_0 \sqrt{\frac{2k}{k-1} \rho_1 p_1 \left[\left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_0}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (1)$$

де: μ_0 – коефіцієнт витрати отвору; F_0 – площа поперечного перерізу отвору; k – стала Больцмана для газу; p_1, ρ_1 – тиск і густина газу в трубопроводі в точці витікання; p_0, ρ_0 – тиск навколишнього середовища і густина газу під тиском навколишнього середовища.

– якщо виконується умова

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

$$M = \mu_0 F_0 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2k}{k+1} \rho_1 p_1}. \quad (2)$$

Коефіцієнт витрати μ_0 залежить від ступеня стиснення газу в отворі, режиму руху газу, структури розподілу швидкостей у перерізі струменя, яка, в свою чергу, залежить від форми отвору. Даний коефіцієнт, здебільшого, визначається експериментально.

Припускаємо, що залежності (1)-(2) є справедливими для аварійного режиму з витокком. Враховуючи важливість та розповсюдженість газопроводів великого діаметру на території України, саме для таких газопроводів важливо оцінити особливості виникнення аварійних режимів, зумовлених утворенням витoku. Змодельуємо аварійний режим, викликаний утворенням витoku на магістральному газопроводі Ду 1420 мм, схема якого зображена на рис. 1.

Для застосування агрегативно-імітаційного методу [3], даний газопровід необхідно розбити на елементарні агрегати, кожному з яких необхідно присвоїти порядковий номер. Тиск на вході агрегату 1 підтримується постійним, і становить 6 МПа. Масова витрата на виході агрегату 6 теж підтримується постійною і становить 480 кг/с. Температуру ґрунту по довжині ділянки приймаємо рівною 278 К. Припускаємо, що засоби телеметрії знаходяться на відстані 15 км в обидві сторони від місця витікання газу. Ця відстань прийнята в якості найгірших умов з огляду на те, що засоби телеметрії на лінійній частині змонтовані здебільшого на лінійних запірних вузлах, вузлах запуску-приймання очисних пристроїв, а також на вузлах підключення відводів. При цьому максимальна відстань між лінійними кранами на МГ, згідно з [4], не повинна перевищувати 30 км.

У момент часу $t=0$ на газопроводі утворюється витік, що спричинює надходження в навколишнє середовище газу відразу на повний переріз дефекту в трубопроводі. Таке припущення є умовним, однак ми нехтуємо динамікою розвитку отвору в газопроводі. Методом проб було встановлено, що для розглянутої ділянки газопроводу ААЗК спрацюють у випадку витікання газу в точці аварії (рис. 1) через отвір, еквівалентний діаметр якого є не меншим 700 мм. Це видно з різниці тисків на Кр.2 в моменти часу $t=45$ с і $t=105$ с (рис. 2). Протягом цього часу тиск на крані Кр. 2 понизився на 0,49 МПа, що приблизно дорівнює 10% від початкового тиску в трубопроводі.

Розподіл тиску по довжині ділянки в момент утворення витoku і через 300 с після моменту утворення зображений на рис. 3.

Очевидно, що діаметр отвору 700 мм є надзвичайно великим дефектом. У разі виникнення витoku такої величини відбувається викид ґрунту. У цей момент внаслідок тертя в ґрунті виникає іскра, тому практично кожен крупний витік на магістральних газопроводах супроводжується пожежами. Під час пожежі

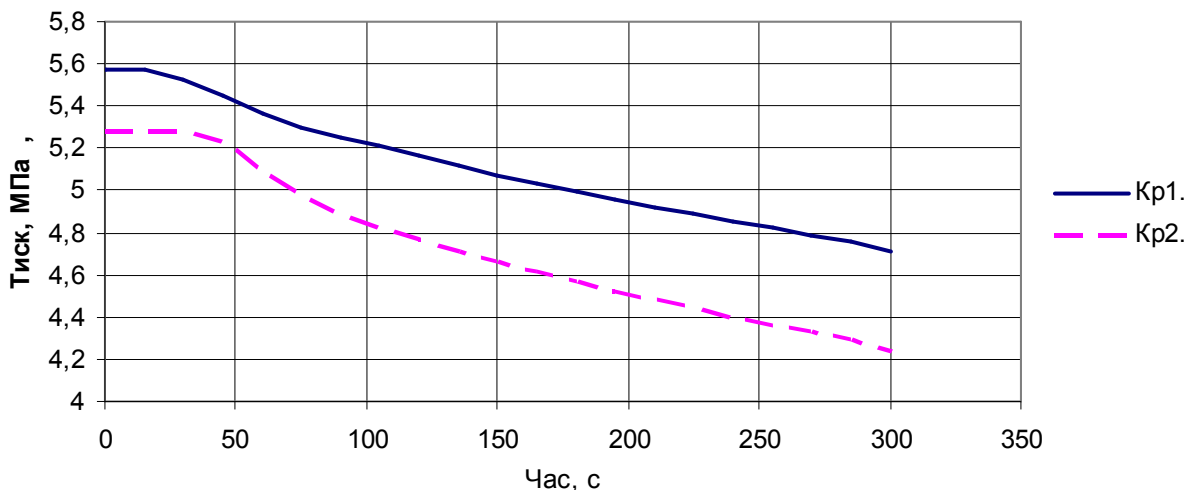


Рисунок 2 – Динаміка зміни тиску на крані до Кр1

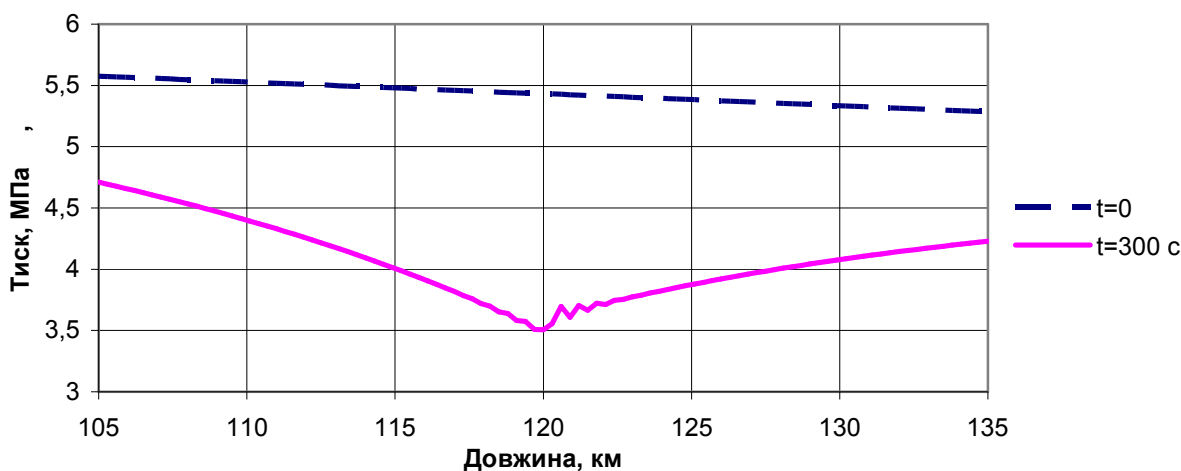


Рисунок 3 – Розподіл тиску по довжині ділянки між кранами Кр1 і Кр2 в момент утворення витоку та через 300 с після утворення витоку

внаслідок високої температури отвір розширюється і відбувається повний розрив труби. Таким чином, для розглянутого газопроводу ААЗК спроможні локалізувати виключно розриви на магістральних газопроводах.

Для того, щоб дослідити можливість локалізації дрібних витоків (свищів) на магістральних газопроводах за показами вимірювального обладнання, необхідно дати відповідь на такі запитання:

- яке мінімальне значення падіння тиску може бути ідентифіковане системою контролю в режимі реального часу як падіння внаслідок виникнення витоку;

- за яких розмірів отвору не відбувається викид ґрунту і, відповідно, займання струменя газу.

Для вирішення першого запитання необхідно розглянути нормальний розподіл тиску в часі, який реєструється засобами телемеханіки під час роботи ГТС в стаціонарному режимі. Такий розподіл отримано на МГ «Союз». Так на рисунку 4, а зображено розподіл на виході з компресорної станції, на рисунку 4, б – на лінійному крані перегону.

З діаграм видно, що середнє значення тиску під час умовного стаціонарного режиму роботи магістрального газопроводу коливається в межах $\pm 0,75$ кгс/см². Приймаємо подвійний запас цього коридору коливання режимних параметрів, тобто відміну вимірюваного значення тиску в діапазоні $\pm 1,25$ кгс/см² від середньозваженого значення вважаємо наслідком пульсації показів манометра (рисунку 4 а)), або наслідком затухання нестационарних процесів, викликаних зміною режиму роботи газопроводу (рисунку 4 б)).

Методом проб встановлено, що для трубопроводу діаметром 1420 мм мінімальний умовний діаметр витоку, який може бути виявлений шляхом порівняння падіння значення тиску з його змодельованим за методом сіток [5] значенням за умови безаварійності роботи газопроводу, становить 80 мм (рисунку 5).

З рисунку 5 видно, що протягом 5000 с тиск на крані 1 падає від значення 5,405 МПа до значення 5,277 МПа, тобто на 0,129 МПа=1,315 кгс/см², а на крані 2 – від значення 5,117 МПа до значення 4,987 МПа, тобто на 0,130 МПа=1,325 кгс/см².

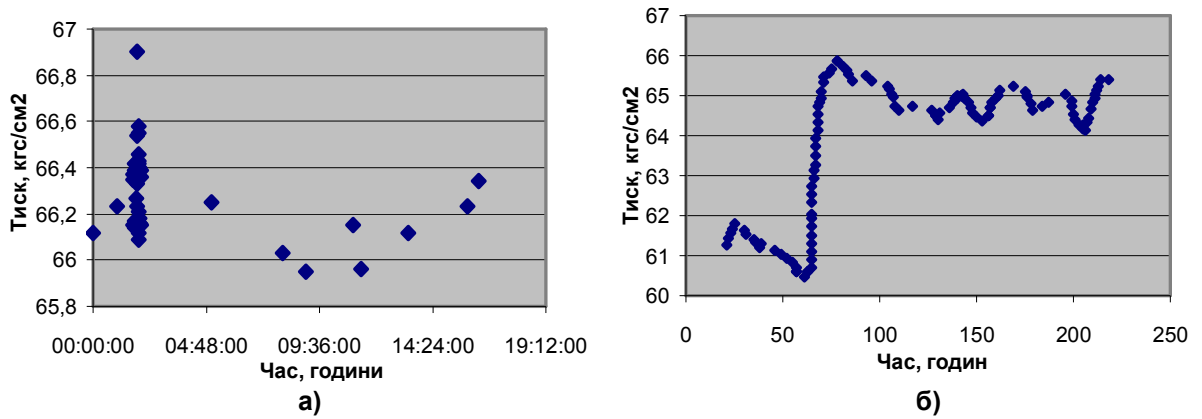


Рисунок 4 – Розподіл в часі тиску в заданій точці МГ за умови його роботи в стаціонарному режимі

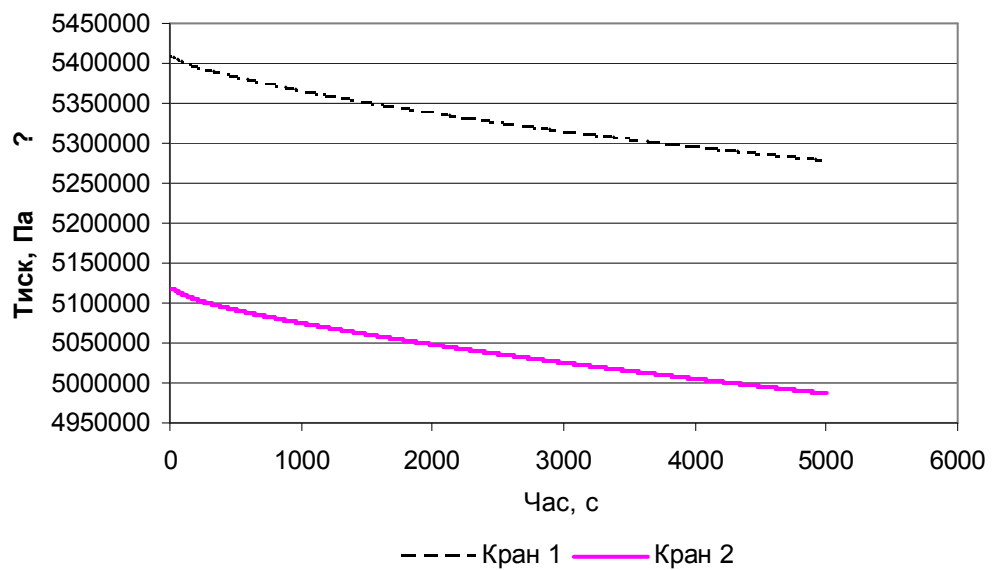


Рисунок 5 – Розподіл в часі тиску для отвору діаметром 80 мм

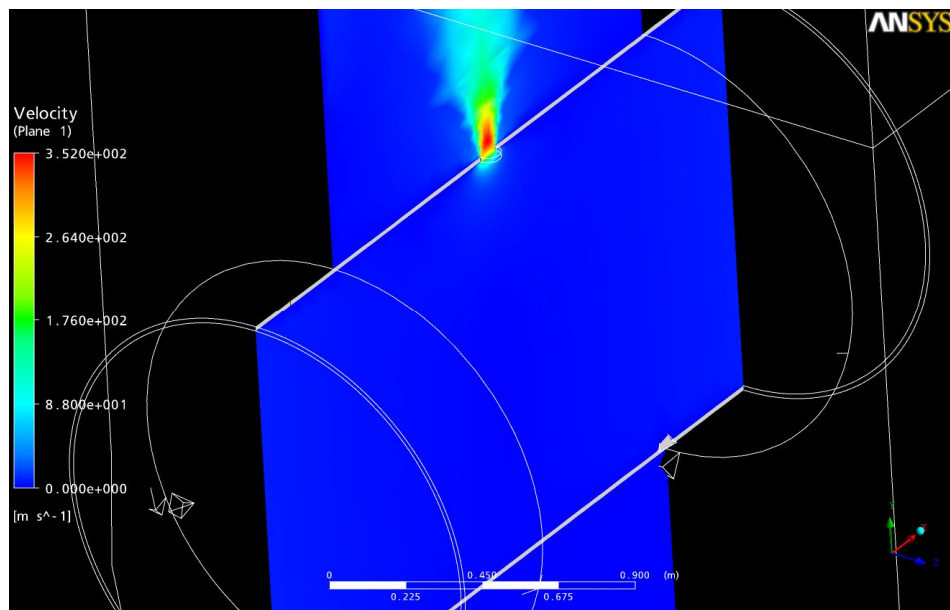


Рисунок 6 – Просторовий розподіл швидкості руху газу під час аварійного витікання газу

Для перевірки достовірності формул (1)-(2) побудована трьохмірна модель витoku газу через отвір площею, рівною площі круга діаметром 80 мм та розрахована швидкість руху газу на виході отвору за допомогою комплексу Ansys CFX. Просторовий розподіл швидкості руху газу під час витікання з газопроводу зображено на рисунку 6.

Через переріз витoku відбувається витікання з масовою витратою 15,7 кг/с. Тиск на перерізі перерізу становить 1,857 МПа.

Згідно з розрахунком за формулами (1)-(2), масова витрата за такими даними через отвір становить 17,0 кг/с. При цьому, коефіцієнт витрати прийнятий 1. Така різниця пояснюється складною формою перерізу розриву газопроводу.

Отримані результати дають підстави зробити висновок, що існує діапазон допустимих витоків на магістральних газопроводах, які не можуть бути локалізовані за допомогою ААЗК, однак успішно можуть бути виявлені системами контролю за безаварійністю роботи ГТС в режимі реального часу за показами штатного обладнання, що підтверджує доцільність розробки таких систем та встановлення їх на вітчизняних ГТС.

Література

- 1 ОНТП 51-1-85. Общесоюзные нормы технологического проектирования. Магистральные трубопроводы. – М: Мингазпром, 1985.
- 2 Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям: под ред. М.О.Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
- 3 Яковлев С.І. Режимы газотранспортных систем / [Яковлев С.І., Казак О.С., Михалків В.Б., та ін.]. – Львів: Світ. 1992. – 172 с.
- 4 Магистральные трубопроводы. СНиП 2.05.06-85. – [чинний від 1985-03-18]. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 70 с. – (Будівельні норми та правила).
- 5 Мельниченко Ю.Г. Особенности развязывания краевой задачи при расчете нестационарных неизотермичных потоков в магистральных газопроводах / Ю.Г. Мельниченко, Д.Ф. Тимків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1(22). – С. 27-29.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
25.02.10
Рекомендована до друку професором
Грудзом В.Я.*