

Дослідження та методи аналізу

УДК 622.692.4

ВПЛИВ НЕРІВНОМІРНОСТІ ГАЗОСПОЖИВАННЯ НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН ТРУБОПРОВОДУ

*Є.І.Крижанівський, О.С.Тараєвський**ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42464, e-mail: rector@nung.edu.ua*

Проанализированы влияния неравномерности газопотребления на напряжённое состояние трубопровода и аналитические зависимости изменения потребления газа на протяжении суток. Разработана методика и определены напряжения, которые возникают внутри трубопровода, и их колебания на протяжении суток. Рассмотрены некоторые аспекты механизма разрушения трубопроводов при действии циклических напряжений и их концентрации в сварном соединении.

There have been analyzed irregularities of gas-consumption on pipeline stress and analytic relations of gas-consumption changes during the day. There have been developed the method and defined stresses that arise inside of the pipeline and their variation during the day. Some aspects of pipeline destruction mechanism in the presence of cyclic stresses and their concentration in welded connection have been observed.

Постановка проблеми. У процесі експлуатації газотранспортного комплексу України, газопроводи піддаються статичним, циклічним, динамічним навантаженням та впливу корозійного середовища, одночасна дія якого призводить до їх корозійно – втомного руйнування. Слід зазначити, що катодні й анодні ділянки на поверхні деформованого металу в корозійному середовищі не є стабільними і можуть мінятися місцями у зв'язку зі зміною електродних потенціалів під впливом деформації, а також у зв'язку з утворенням пасивних плівок і втомних тріщин, які є концентраторами напружень.

Високий рівень напружень у стінках газопроводів, зумовлений внутрішнім тиском (до 7,5 МПа) транспортованого газу, для зварних кільцевих з'єднань ще і високим рівнем залишкових зварювальних напружень, які можуть досягати $(0,4..0,6) \sigma_T$, ставить особливі вимоги як до визначення їх величин так і прогнозування режимів експлуатації газопроводів.

Важливим етапом проведення досліджень є статистичний аналіз реальних режимів роботи магістральних газопроводів із пересіченим профілем траси, що дозволить встановити реальну картину руху газу в газопроводах, а також загальні характеристики технологічних процесів. Реальні газопроводи працюють у нестационар-

ному режимі. Однією із зовнішніх причин нестационарності роботи газопроводу є періодичне збурення від добових, місячних, а також річних коливань газоспоживання, які мають певну закономірність. Для оперативного диспетчерського керування, в основному, має значення облік коливання газоспоживання впродовж доби. Для проведення таких досліджень важливо встановити причину виникнення нестационарного процесу, яка у свою чергу в більшості випадків визначає характер його протікання. Усі причини виникнення нестационарних процесів можуть бути розділені на постійно діючі та імпульсні.

До першої групи слід віднести нестационарні процеси, викликані добовою нерівномірністю газоспоживання. Вони характеризуються періодичністю в одну добу і для транзитних газопроводів незначною амплітудою зміни технологічних параметрів. В основному для вимірювання добової нерівномірності газоспоживання використовується акумулююча здатність газопроводу, тому в більшості випадків ніяких керуючих впливів на систему не застосовується.

Імпульсні причини виникнення нестационарності газового потоку в газопроводі з технологічної точки зору можна поділити на дві групи. До першої слід віднести нестационарні процеси,

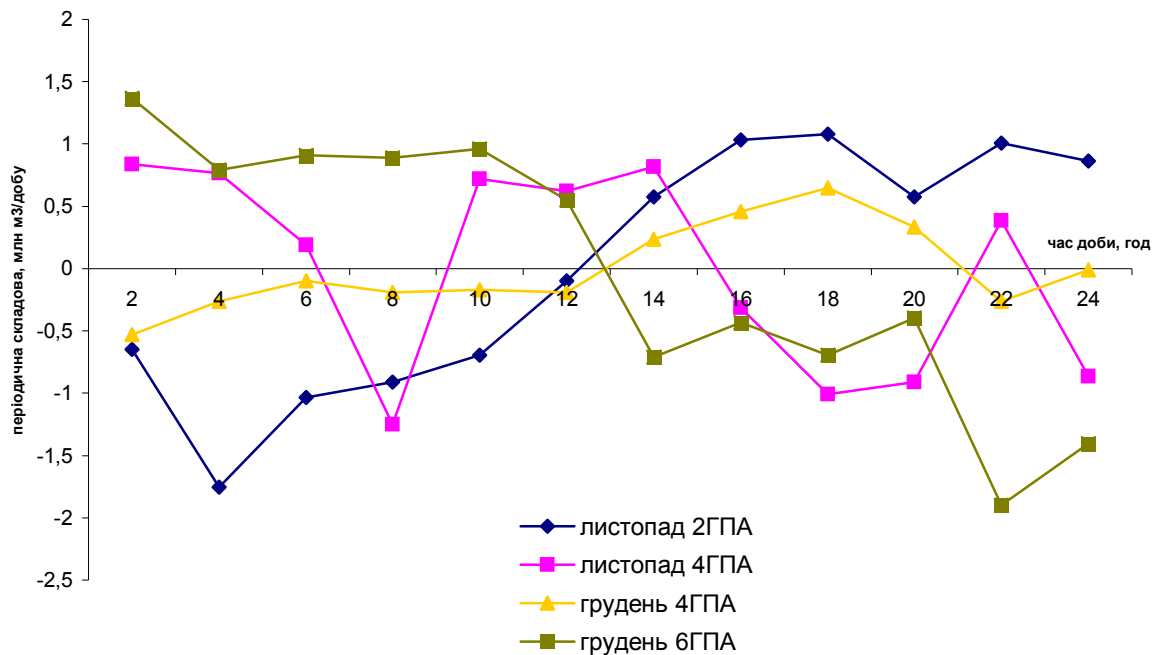


Рисунок 1 — Нерівномірність споживання газу впродовж доби

викликані технологічними плановими впливами на систему (зміна технологічної схеми компресорної станції (КС), різні зміни в поступленні чи відборі газу із системи). Нестационарність потоку, викликана дією цих впливів, характеризується великою амплітудою зміни технологічних параметрів і значною тривалістю перехідного процесу. Однак, момент початку нестационарного процесу в цьому випадку здебільшого заздалегідь відомий, що дозволяє завчасно моделювати майбутній нестационарний процес та прийняти відповідні керуючі рішення. До другої групи відносяться нестационарні процеси, викликані аварійними ситуаціями на газопроводах (як на КС, так і на лінійних ділянках).

Огляд літератури. Корозійна втома сталей протікає у воді, розчинах електролітів, зволжених газах та інших корозійно – агресивних середовищах і пов'язана з електрохімічними корозійними процесами, які відбуваються на циклічно деформованому металі. Під час процесу відбувається адсорбція з корозійного середовища іонів або цілих молекул на поверхню металу, що викликає адсорбційну втому. Адсорбція водню на катодних ділянках сталі, наприклад під час корозії з водневою деполяризацією, викликає явище водневої втоми [1,2,3]. Таким чином, в поняття корозійної втоми входять поняття про адсорбцію та водневу втому.

Внаслідок корозійної втоми руйнування може відбуватись або на анодних або на катодних ділянках металу. На анодних ділянках утворення тріщин втоми проходить у випадку корозійної дії на метал шляхом його анодного розчинення і, як результат, утворення концентраторів напруження. На катодних ділянках

руйнування відбувається внаслідок корозії з водневою деполяризацією, коли протікає процес наводнення металу, як результат – поява водневої крихкості.

Метою даної роботи є аналіз впливу нерівномірності газоспоживання на напружений стан трубопроводу, а також аналітичних залежностей зміни споживання газу впродовж доби.

Основний матеріал дослідження й порівняльний аналіз проведений на основі обчислювального експерименту.

Прогнозування, що проводиться на основі статистичних даних, має першочергове значення під час розв'язування задач диспетчерського керування. Воно допомагає раціональніше використовувати потужності компресорних станцій, ефективніше організувати роботу експлуатаційних служб, підвищити надійність роботи газотранспортної системи.

Для побудови аналітичних залежностей зміни споживання газу впродовж доби були взяті дані за листопад та грудень 2003 року з газопроводу "Союз", діаметр і товщина стінки якого становить 1420x20 мм, молекулярна маса транспортованого газу 16,2 кг/кмоль, коефіцієнт гідравлічного опору 0,01, середня температура 318 К. Вибір даних місяців зумовлений тим, що в даний період проходить пікове споживання газу.

Коливання добового споживання газу (рис. 1), розраховали, виходячи з такої формули:

$$\Delta Q = Q' - Q_{cp}, \quad (1)$$

де: Q' – середньогодинне споживання газу, млн.м³/добу;

Q_{sp} – середньодобове споживання газу, млн.м³/добу.

Маючи середньогодинне споживання газу, знайдемо початковий тиск на ділянці від газопроводу до ГРС (ГРП), якщо кінцевий тиск на цій же ділянці буде дорівнювати тиску на вході в ГРП (ГРС) [4].

$$P_n = \sqrt{P_K^2 + \frac{\lambda_{cp} \cdot \Delta \cdot Z_{cp} \cdot T_{cp} \cdot L \cdot q^2}{(3,26 \cdot 10^{-7})^2 \cdot d^5}} \quad (2)$$

де: q – об’ємна продуктивність, у млн.м³/добу;
 d – внутрішній діаметр труби, в мм;

P_n, P_K – відповідно абсолютні тиски на початку і в кінці ділянки, в ата;

λ_{cp} – коефіцієнт гідравлічного опору ділянки газопроводу;

Δ – відносна густина газу;

T_{cp} – середня температура по довжині ділянки газопроводу транспортованого газу, в К;

L – довжина ділянки газопроводу, в км.

Провівши певні розрахунки, за формулою (2), знаходимо перше наближення значення початкового тиску, яке становить 26,77 ата.

Остаточне значення величини середнього тиску в газопроводі знаходимо за формулою

$$P_{cp} = \frac{2}{3} \left(P_n + \frac{P_K^2}{P_n + P_K} \right) \quad (3)$$

Підставивши числові значення у формулу (3), одержимо величину середнього тиску, що становить 25,9 ата.

Знайшовши середній тиск переходимо до розрахунку маси газу, що знаходиться в трубопроводі, через кожні дві години впродовж доби, за формулою

$$M = M_{cp} - \Delta M \quad (4)$$

де: M_{cp} – середня маса газу впродовж двох годин, у кг

ΔM – нерівномірність споживання газу впродовж двох годин

$$M_{cp} = \frac{P_{cp} \cdot V}{Z \cdot R \cdot T_{cp}} \quad (5)$$

де V – об’єм газу в трубопроводі, у м³

$$V = 0.01 \cdot L \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (6)$$

Остаточне значення об’єму газу в трубопроводі становить приблизно 150 тис.м³, а середня маса газу впродовж двох годин – 26,7 кг.

Нерівномірність споживання газу впродовж доби розраховується як площа фігури обмежена часом (рис. 1).

Для продуктивності 57,504 млн.м³/добу, із 12 до 14 години, $\Delta M = 0,5$ кг.

Тоді $M = 26,7 - 0,5 = 26,2$ кг.

Для даної маси газу знаходимо середній тиск з урахуванням добової нерівномірності споживання газу. Виходячи з формули (5) випливає, що середній тиск дорівнює 27,03 ата.

Даний тиск буде початковим для ділянки 4 перед газоперекачувальним агрегатом (ГПА). Необхідно знайти кінцевий тиск. Як відомо, ступінь підвищення тиску дорівнює

$$\varepsilon = \frac{P_n}{P_K} \quad (7)$$

Ступінь підвищення тиску знайдемо графоаналітичним методом. За допомогою графіка, зображеного на рис. 2, знаходимо ступінь підвищення тиску [4]. За допомогою формули (7) знаходимо початковий тиск, він буде дорівнювати 27,6 ата.

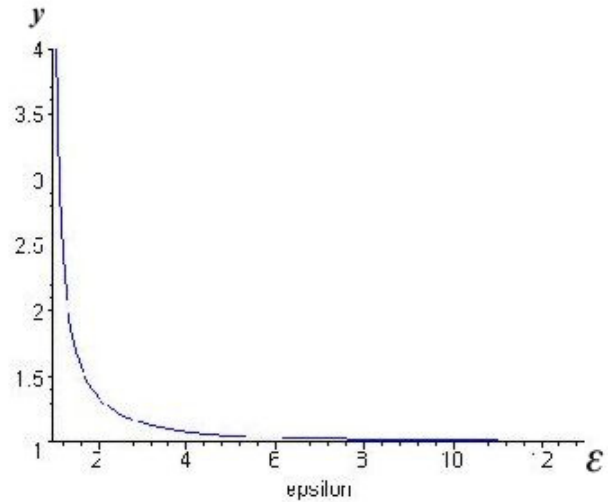


Рисунок 2 — Графік залежності $f(\varepsilon)$

Маючи початковий тиск, із врахуванням денної нерівномірності знаходимо напруження, що виникає у трубопроводі за допомогою формули [4]

$$\sigma = \frac{1,1 \cdot P_n \cdot g \cdot D}{200 \cdot \delta} \quad (8)$$

де: D – зовнішній діаметр труби, у мм;

δ – товщина стінки труби, у мм;

P_n – тиск, в ата;

g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с².

Підставивши числові значення у наведену вище формулу одержимо, напруження, що враховує денну нерівномірність споживання газу, становить 106 МПа.

Даний розрахунок дозволив нам визначити напруження, що виникає у трубі впродовж двох годин (із 12 до 14 години). На основі викладеної раніше методики, розроблено алгоритм і програму, які дають змогу розрахувати:

– коливання добового споживання газу;

– початкові та середні тиски;

– коливання маси газу в трубі протягом доби;

– напруження, що виникає у трубопроводі.

Графік коливання напружень, що виникають у трубі впродовж дня, зображено на рис. 3. Проаналізувавши даний графік ми можемо стверджувати, що найбільші коливання напружень, які виникають у трубі, будуть у листопаді і грудні (від 60 МПа до 160 МПа). Це зумовле-

но тим, що в даний час відбувається найбільш нерівномірне вибирання газу.

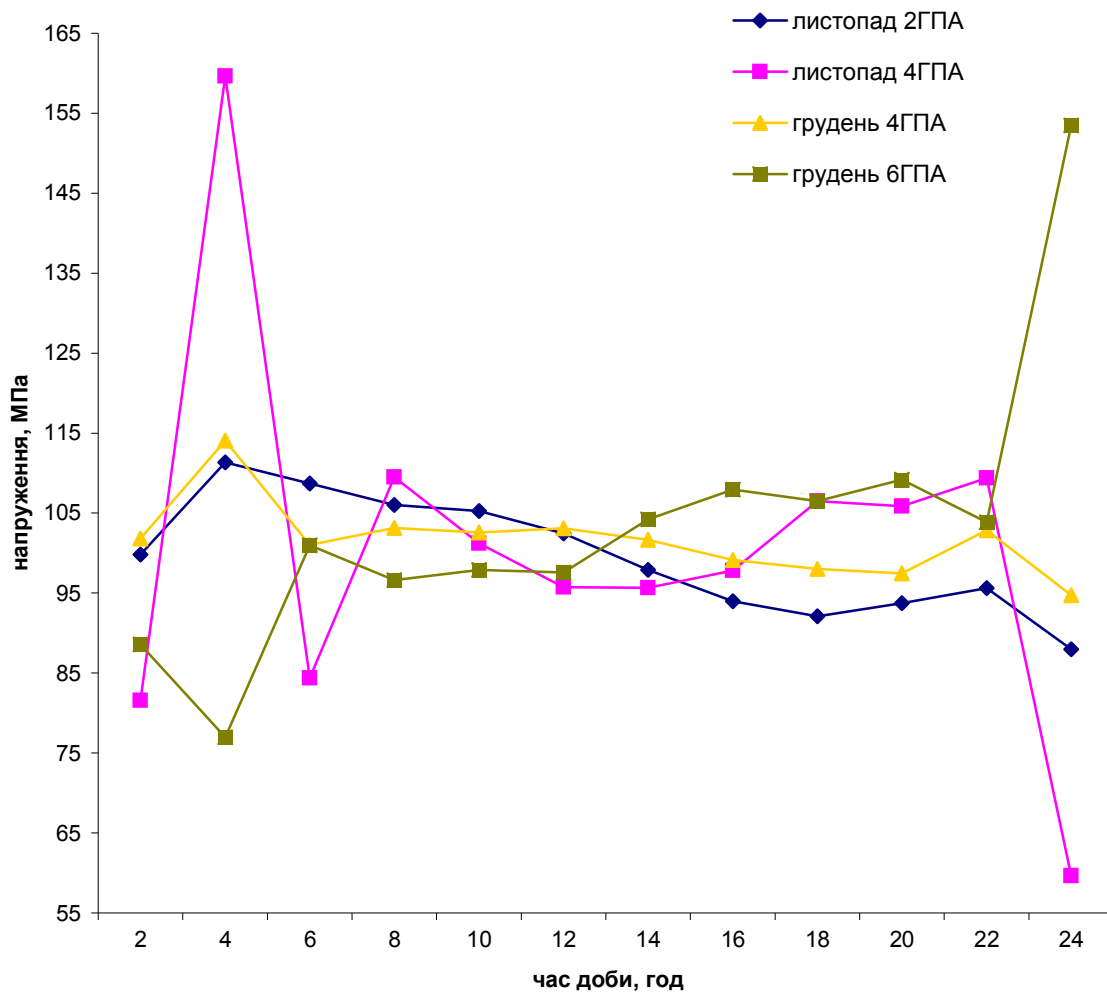


Рисунок 3 — Коливання напружень, що виникають у трубі впродовж доби

Висновки. Враховуючи особливості експлуатації газопроводів, у першу чергу їх зварних з'єднань під час катодного захисту та дії на них циклічних навантажень у корозійному середовищі, руйнування відбувається внаслідок водневої втоми. Катодний захист частково або повністю усуває протікання анодних процесів у газопроводах, але не зменшує, а навпаки підсилює процеси виділення іонів водню на поверхню газопроводу, що призводить до наводнення і викликає водневу крихкість. Крім того, якщо до катодно захищеної сталі постійно підводиться свіже корозійне середовище, яке інтенсивно переміщується, то процес наводнення протікає безперервно. Тому має місце явище водневої втоми під час катодного захисту газопроводів. Найбільш чутливим до такого виду руйнування є кільцеві зварні з'єднання газопроводу.

Таким чином, важливою умовою забезпечення стійкості газопроводів проти корозійно-втомних руйнувань є правильний і раціональний вибір величини допустимого напруження для даного робочого середовища та малої кількості циклів навантаження.

Література

1. Василенко І.І., Мелехов Р.К. Корозійне растрескивание сталей. – К.: Наукова думка, 1977. – 265 с.
2. Карпенко Г.В. Прочность стали в корозійной среде. – М.: Машгиз, 1963. – 188 с.
3. Похмурський В.І., Мелехов Р.К. Корозійно механічне руйнування зварних конструкцій. – К.: Наукова думка, 1990. – 347 с.
4. Ходанович І.Е. Аналитические основы проектирования и эксплуатации магистральных газопроводов. – М.: Гостехиздат, 1961.