

Технічні науки

УДК 621.622

Стасюк Роман Богданович

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтоосховищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Стасюк Роман Богданович

кандидат технических наук, доцент,

доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Stasiuk Roman

PhD, Associate Professor,

Associate Professor of the Department Oil and Gas Pipelines and Storage Facilities

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Дрінь Наталя Ярославівна

кандидат технічних наук,

асистент кафедра газонафтопроводів та газонафтоосховищ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Дринь Наталья Ярославовна

кандидат технических наук,

ассистент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ,

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

Drin Natalia

PhD, Associate Professor,

Assistant of the Department Oil and Gas Pipelines and Storage Facilities

Ivano-Frankivsk National Technikal University of Oil and Gas

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИТІКАННЯ ГАЗУ ПІД ТИСКОМ ПРИ
НЕСТАЦІОНАРНОМУ ПРОЦЕСІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЙОГО В
ТРУБОПРОВОДІ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УТЕЧКИ ГАЗА ПОД ДАВЛЕНИЕМ
ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ПРОЦЕССЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЕГО В
ТРУБОПРОВОДЕ**

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF GAS LEAKAGE UNDER
PRESSURE IN THE NON-STATIONARY PROCESS OF MOVING IT IN
THE PIPELINE**

Анотація. Проведені обстеження підземних газопроводів показали, що їх термін експлуатації головним чином залежить від корозійної стійкості основного металу та зварного з'єднання труб, а також характеру руйнування поверхні металу в місцях з порушеним ізоляційним покриттям.

Попереднє вивчення умов експлуатації підземних газопроводів дозволило зробити висновок про необхідність комплексних досліджень деформівної системи “труба — ґрунтовий масив” сучасними методами механіки підземних споруд та механіки корозійного руйнування з метою попередження розгерметизації газопроводів.

В практиці будівництва питання взаємодії трубопроводів з ґрунтом вивчені недостатньо. Тому чітких і апробованих рішень щодо вибору чи визначення основних характеристик для розрахунку та аналізу роботи підземних трубопроводів немає.

Врахування корозійної активності ґрунту, яку прийнято оцінювати часом до появи на новому газопроводі першої каверни, складу і фізико-механічних властивостей ґрунтів та їх динаміки значно ускладнює розрахункову схему, оскільки з'являється багато додаткових, змінних в часі параметрів, які визначаються експериментально. Перелік самих лише

істотних факторів, що визначають корозійну активність ґрунтів, якими є структура та гранулометричний склад, вологість, склад ґрунтового електроліту, загальна кислотність чи лужність ґрунту, концентрація водневих йонів, повітропроникність

Закономірності процесу витікання реальних газів через отвори та насадки під тиском базуються на математичному моделюванні. Основні математичні моделі базуються на класичних рівняннях, що описують процес руху газу в трубопроводі, а саме рівнянні руху, рівнянні нерозривності і рівнянні енергії.

Рівняння руху побудоване на основі принципу суперпозиції сил, що діють на елемент речовини в газовому потоці. В процесі експлуатації газопроводів виникають порушення герметичності, які проявляються у вигляді витікань газу різної інтенсивності в навколишньому середовищі, створюють загрозу забруднення навколишнього середовища і є потенційно небезпечними для виникнення відказів системи.

Ключові слова: витікання газу, тиск, нестационарний процес, трубопровід.

Аннотація. Проведенные обследования подземных газопроводов показали, что их срок эксплуатации главным образом зависит от коррозионной стойкости основного металла и сварного соединения труб, а также характера разрушения поверхности металла в местах с нарушенным изоляционным покрытием.

Предварительное изучение условий эксплуатации подземных газопроводов позволило сделать вывод о необходимости комплексных исследований деформируемой системы "труба - грунтовой массив" современными методами механики подземных сооружений и механики коррозионного разрушения с целью предупреждения разгерметизации газопроводов.

В практике строительства вопросы взаимодействия трубопроводов с почвой изучены недостаточно. Поэтому четких и апробированных решений по выбору или определения основных характеристик для расчета и анализа работы подземных трубопроводов нет.

Учет коррозионной активности почвы, которую принято оценивать время до появления на новом газопроводе первой каверны, состава и физико-механических свойств грунтов и их динамики значительно усложняет расчетную схему, поскольку появляется много дополнительных, переменных во времени параметров, которые определяются экспериментально. Перечень одних существенных факторов, определяющих коррозионную активность почв, каковы структура и гранулометрический состав, влажность, состав почвенного электролита, общая кислотность или щелочность почвы, концентрация водородных ионов, воздухопроницаемость

Закономерности процесса истечения реальных газов через отверстия и насадки под давлением базируются на математическом моделировании. Основные математические модели базируются на классических уравнениях, описывающих процесс движения газа в трубопроводе, а именно уравнении движения, уравнении неразрывности и уравнении энергии.

Уравнения движения построенное на основе принципа суперпозиции сил, действующих на элемент вещества в газовом потоке. В процессе эксплуатации газопроводов возникают нарушения герметичности, которые проявляются в виде утечек газа различной интенсивности в окружающей среде, создают угрозу загрязнения окружающей среды и потенциально опасными для возникновения отказов системы.

Ключевые слова: *утечки газа, давление, нестационарный процесс, трубопровод.*

Summary. Surveys of underground gas pipelines have shown that their service life mainly depends on the corrosion resistance of the base metal and welded pipe joints, as well as the nature of the destruction of the metal surface in places with damaged insulation.

Preliminary study of the operating conditions of underground gas pipelines allowed to conclude the need for comprehensive studies of the deformable system "pipe - soil mass" by modern methods of mechanics of underground structures and mechanics of corrosion failure to prevent depressurization of gas pipelines.

In the practice of construction, the issues of interaction of pipelines with the soil are insufficiently studied. Therefore, there are no clear and proven decisions on the selection or determination of the main characteristics for the calculation and analysis of underground pipelines.

Taking into account the corrosion activity of the soil, which is estimated from time to time on the new gas pipeline, the composition and physical and mechanical properties of soils and their dynamics significantly complicates the calculation scheme, as there are many additional, time-varying parameters that are determined experimentally. The list of the most important factors that determine the corrosion activity of soils, which are the structure and particle size distribution, humidity, composition of the soil electrolyte, total acidity or alkalinity of the soil, the concentration of hydrogen ions, air permeability

Regularities of the process of leakage of real gases through holes and nozzles under pressure are based on mathematical modeling. Basic mathematical models are based on classical equations that describe the process of gas motion in a pipeline, namely the equations of motion, the equations of continuity and the equations of energy.

The equation of motion is based on the principle of superposition of forces acting on an element of matter in a gas stream. During the operation of gas pipelines there are leaks, which manifest themselves in the form of gas leaks

of varying intensity in the environment, pose a threat of environmental pollution and are potentially dangerous for system failures.

Key words: gas leakage, pressure, non-stationary process, pipeline.

Постановка проблеми. Розглянемо потік газу з непроникною бічною поверхнею і виділимо два перерізи, перпендикулярні осі потоку. Дослідимо процес витікання газу з трубопроводу в атмосферу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження складають праці таких фахівців у галузі трубопровідного транспорту, як В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В [1], В.Б. Михалків [2], Фейчук В.В. [3], И. И. Капцов [4].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Аналіз різнобічних наукових праць та досліджень в даному напрямку та отримання зв'язку між масової витрату ідеального газу при оборотній адіабатній течії через сопло.

Виклад основного матеріалу. Нехай на шляху від перерізу 1-1 до перерізу 2-2 до потоку підводиться теплова енергія Q і виконується робота L (вона вважається позитивною, якщо виконується газом):

$$E_1 = E_2 - Q_T \pm L. \quad (1)$$

Сумарна енергія газу в кожному перерізі може бути представлена у вигляді суми внутрішньої, кінетичної і потенційної енергії, причому остання складається з потенційної енергії положення перерізу над умовним рівнем і потенційної енергії тиску (взаємного розташування молекул газу).

$$U_1 + \frac{m_1 w_1^2}{2} + mgh_1 + P_1 Q = U_2 + \frac{m_2 w_2^2}{2} + mgh_2 + P_2 Q - Q_T \pm L, \quad (2)$$

де U – внутрішня енергія; $\frac{mw^2}{2}$ – кінетична енергія; $mgh + PQ$ – потенційна енергія [1, с. 44].

По відношенню до одиниці маси газу рівняння енергії:

$$U_1 + \frac{w_1^2}{2} + gh_1 + \frac{P_1}{\rho_1} = U_2 + \frac{w_2^2}{2} + gh_2 + \frac{P_2}{\rho_2} - q - l, \quad (3)$$

де $q = \frac{Q_{\Gamma}}{m}$ – питоме підведене тепло; $l = \frac{L}{m}$ – питома робота.

Величина $\frac{P}{\rho} + U = i$ є ентальпією газу ($i = C_p T$).

Вважаючи трубопровід горизонтальним, одержимо

$$i_1 + \frac{w_1^2}{2} = i_2 + \frac{w_2^2}{2} - q \pm l. \quad (4)$$

Якщо знехтувати теплообміном, то для випадку, коли на шляху газ не виконує роботу можна записати:

$$T_1 + \frac{w_1^2}{2C_p} = T_2 + \frac{w_2^2}{2C_p}. \quad (5)$$

Нехай газовий потік набігає на нерухому стінку, тоді

$$T^* = T + \frac{w_1^2}{2C_p}. \quad (6)$$

Ця температура називається температурою гальмування. Вона завжди більша за температури в газовому потоці.

Розглянемо процес витікання газу з ресивера в атмосферу через малий отвір.

Враховуючи ентальпію газу $i_0 = C_p T_0 = (C_v + R)T_0$ та рівняння стану газу $RT_0 = P_0 \nu$, одержимо

$$w_2 = \sqrt{\frac{2}{k-1} (P_0 \nu_0 - P_a \nu_a)}, \quad (7)$$

де ν – питомих об'єм.

Виражаючи масову витрату газу у вигляді добутку лінійної швидкості, густини і площі перерізу отвору, одержимо

$$m = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2k}{k-1} P_0 \rho_0 \left[\left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_a}{P_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (8)$$

де $k = \frac{C_p}{C_v}$ – показник адіабати [2, с.56].

Отримане нами рівняння зв'язує між собою масову витрату ідеального газу при оборотній адіабатній течії через сопло, площу вихідного перерізу і величини тисків в середині і зовні ємності. За допомогою цього рівняння можна вирішити і зворотне завдання знайти, якій має бути площа вихідного перерізу сопла, для того, щоб забезпечити задану витрату газу через сопло при заданих параметрах газу на вході в сопло і на виході з нього.

Аналіз характеру залежності витрати m від відношення тиску газу на виході з сопла до тиску перед соплом p_2 / p_1 . Диференціюючи різниця по ψ і прирівнюючи (відповідно до правил відшукування екстремуму) отриману величину нулю, маємо:

$$\frac{2}{k} \Psi^{\frac{2}{k}-1} - \frac{k+1}{k} \Psi^{\frac{1}{k}} = 0$$

Означаючи величину ψ для $m = m_{\max}$ (і, отже, для $p_2 = p^*$) через $\psi_{\text{кр}}$, отримуємо:

$$\Psi = \left(\frac{k+1}{k} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Це співвідношення показує, що значення критичного відношення тисків $\psi_{\text{кр}} = p^*/p_1$ залежить від k , проте ця залежність слабка : так, для $k = 1,4$, $\psi_{\text{кр}} = 0,53$, а для $k = 1,3$ $\psi_{\text{кр}} = 0,55$, таким чином, зміна ψ не занадто велика. Для різного роду оцінних розрахунків можна в першому наближенні нехтувати залежністю $\psi_{\text{кр}}$ від k і рахувати $\psi_{\text{кр}} \approx 0,5$.

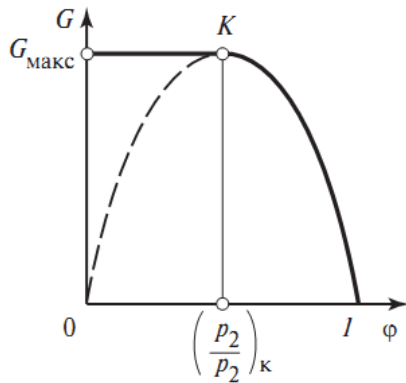


Рис. 1. Залежність масової витрати

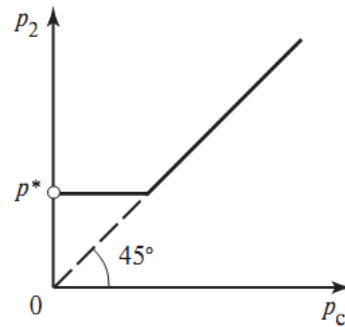


Рис. 2. Критичний тиск витікання від перепаду тисків

Вираз для швидкості витікання газу з сопла при максимальній витраті, можна отримати на основі знайденого виразу для $\psi_{кр}$:

$$w^* = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} p_1 v_1} .$$

Відповідно вираз для максимальної витрати через сопло

$$G_{max} = \Sigma \sqrt{\frac{k}{k+1} \frac{p_1}{v_1}} \left(\frac{k2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} . \quad (10)$$

Як видно з порівняння отриманого нами вираження для w^* з рівнянням (9) величина w^* дорівнює місцевій швидкості звуку у вихідному перерізі сопла:

$$w^* = c.$$

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Саме цим пояснюються відмічені вище "дивності" в характері залежності $m = f(\psi)$. Якщо в деякий момент часу тиск газу за соплом p_2 дещо зменшити, то хвиля розрідження пошириться уздовж потоку в напрямі, протилежному до напрямку витікання потоку; уздовж сопла встановиться новий розподіл тисків(при тому ж, що і раніше, значенні тиску газу перед соплом p_1), і швидкість витікання зросте.

Додержуючись наведеного алгоритму, можемо визначити тиск доти, поки він не зрівняється з атмосферним. Сумуючи всі розглянуті проміжки часу, можна визначити час повного спорожнення газопроводу.

Література

1. Технічна діагностика трубопровідних систем/[В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В. Костів та ін.]. Івано-Франківськ: Лілея-НВ. 2012. 511 с.
2. Грудз В.Я. Обслуговування і ремонт газопроводів/В.Я. Грудз, Д.Ф. Тимків, В.Б. Михалків та ін. Івано-Франківськ: Лілея-НВ. 2009. 711 с.
3. Фейчук В.В. Ремонт трубопроводів без зупинки перекачування / В. В. Фейчук, Я. В. Дорошенко // Обслуговування і ремонт газопроводів / Грудз В.Я., Тимків Д.Ф., Михалків В.Б., Костів В.В. Івано-Франківськ: Лілея, 2009. 750 с.
4. Грудз В.Я. Дослідження процесу фільтрації газу в ґрунті при появі витоків з газопроводу/ В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, Н.Я. Дрін, Р.Б. Стасюк // Нафтогазова енергетика. Івано-Франківськ, 2011. № 1. С. 70-74.
5. Капцов И.И. Восстановительные работы на МГ: пути повышения эффективности / И. И. Капцов, В. Н. Гончаров, В. Н. Гончар // Газовая промышленность. №4. 1990. С. 28-30.
6. Майгуров Е.Н. Определение времени стационарного движения газа по трубопроводу / Е. Н. Майгуров // Вопросы развития газовой промышленности УССР. Труды УкрНИИГАЗ. М.: Недра,1966. Вып.15. С. 28-32.
7. Рауз Х. Механика жидкости / Х. Рауз. М.: Изд-во литературы по строительству,1967. 410 с.
8. Grudz V.Ya. The research of gas leak from the / V.Ya. Grudz, Ya.V. Grudz, N.Ya. Drin, R.B. Stasiuk // Journal of hydrocarbon power engineering. Ivano-Frankivsk, 2014. № 2. P.103-107.

References

1. Tekhnichna diahnostyka truboprovodnykh system/[V.Ia. Hrudz, Ya.V. Hrudz, V.V. Kostiv ta in.]. Ivano-Frankivsk: Lileia-NV. 2012. 511 s.

2. Hrudz V.Ia. Obsluhovuvannia i remont hazoprovodiv / V.Ia. Hrudz, D.F. Tymkiv, V.B. Mykhalkiv ta in. Ivano-Frankivsk: Lileia-NV. 2009. 711 s.
3. Feichuk V.V. Remont truboprovodiv bez zupynky perekachuvannia / V. V. Feichuk, Ya. V. Doroshenko // Obsluhovuvannia i remont hazoprovodiv / Hrudz V.Ia., Tymkiv D.F., Mykhalkiv V.B., Kostiv V.V. Ivano-Frankivsk: Lileia, 2009. 750 s.
4. Hrudz V.Ia. Doslidzhennia protsesu filtratsii hazu v hrunti pry poiavi vytokiv z hazoprovodu / V.Ia. Hrudz, Ya.V. Hrudz, N.Ia. Drin, R.B. Stasiuk // Naftohazova enerhetyka. Ivano-Frankivsk, 2011. № 1. S. 70-74.
5. Kaptsov I.I. Vocstanovitelnye raboty na MG: puti povysheniya effektivnosti / I. I. Kaptsov, V. N. Goncharov, V. N. Gonchar // Gazovaya promyshlennost. №4. 1990. C. 28-30.
6. Maygurov Ye.N. Opredelenie vremeni ctatsionarnogo dvizheniya gaza po truboprovodu / Ye. N. Maygurov // Voprocyy razvitiya gazovoy promyshlennosti UCCR. Trudy UkrNIIGAZ. M.: Nedra,1966. Vyp.15. C. 28-32.
7. Rauz Kh. Mekhanika zhidkosti / Kh. Rauz. M.: Izd-vo literatury po ctroitelctvu,1967. 410 c.
8. Grudz V.Ya. The research of gas leak from the / V.Ya. Grudz, Ya.V. Grudz, N.Ya. Drin, R.B. Stasiuk // Journal of hydrocarbon power engineering. Ivano-Frankivsk, 2014. № 2. P.103-107.