

622.691.7
Ф36

Міністерство освіти, науки, молоді та спорту України

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

ФЕЙЧУК Віталій Васильович

622.691.4 (043)

УДК 621.622

Ф36



ДІАГНОСТУВАННЯ МАЛИХ ВИТОКІВ З ГАЗОВИХ МЕРЕЖ

05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м Івано-Франківськ – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти, науки, молоді та спорту України



Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент

Груз Ярослав Володимирович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Середюк Марія Дмитрівна**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри транспорту і зберігання нафти і газу (м. Івано-Франківськ).

кандидат технічних наук **Братах Михайло Іванович**, Український науково-дослідний інститут природних газів (УкрНДІгаз), провідний науковий співробітник (м. Харків).

Захист відбудеться 11 жовтня 2012 р. о 10 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий 05 вересня 2012 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04,
кандидат технічних наук, доцент

Пилипів Л.Д.

АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Україна займає перше місце в Європі по споживанню природного газу на душу населення. Така висока частка в енергетичному балансі держави вимагає створення і раціональної експлуатації розгалуженої газової мережі як для магістрального транспорту газу (в тому числі і транзитного), так і для розподільчих і міських газопроводів високого, середнього та низького тисків. Великі обсяги перекачування газового пального по газопроводах різних категорій призводять до значних втрат енергоносіїв, що знижує економічну ефективність використання газу та спричиняє зростання ціни на газове паливо. Крім того, мають місце несанкціоновані відбори газу з газових мереж, що також має негативний вплив.

Значні терміни експлуатації газопроводів викликають старіння металу внаслідок корозійних процесів, що зумовлює появу малих витоків із трубопроводів. Особливо це актуальне для газових мереж низького та середнього тиску, для яких виявлення витoku газу може тривати значний період часу експлуатації. Така ситуація є неприпустимою як із економічної, так і з екологічної точки зору, оскільки малий витік газу важко зауважити, внаслідок чого загазованість може обіймати значну територію, а в деяких випадках призвести до утворення газоповітряної суміші та вибуху, в результаті якого виникають суттєві економічні збитки та небезпека для людського життя.

З сказаного очевидно, що діагностика малих витоків із газових мереж відноситься до першочергових завдань експлуатації газового господарства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота носить науково-прикладний характер і входить у комплекс тематичних планів НАК «Нафтогаз України», спрямованих на підвищення надійності експлуатації газотранспортних мереж і окреслених Національною програмою «Концепція розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009 – 2015 рр.» і виконана в рамках держбюджетної теми «Удосконалення наукових основ управління технологічними процесами видобування та транспортування нафти і газу з мінімальними енергозатратами».

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка та наукове обґрунтування методів діагностування малих витоків газу при експлуатації газових мереж.

Визначена мета досягається шляхом реалізації наступних задач:

- статистичні дослідження частоти виникнення малих витоків із газових мереж низького та середнього тиску та тривалості їх ліквідації;
- дослідження нестационарних газодинамічних процесів у газопроводі, викликаних появою аварійного витoku газу;
- розробка методу пошуку місця аварійного витoku з газопроводу на основі аналізу спектру коливань;
- експериментальні й аналітичні дослідження запропонованого методу та оцінка точності.

Об'єкт дослідження. Аварійні витоки газу з газопроводів і процеси, що їх супроводжують.

Предмет дослідження. Нестационарні газодинамічні процеси в газопроводах, викликані появою малих витоків.

Методи дослідження. Аналітичні методи побудови та реалізації математичних моделей нестационарних процесів у газопроводах при виникненні витоків газу, експериментальні методи оцінки точності запропонованого методу визначення координати витoku, аналітичні дослідження аварійних ситуацій у газопроводах.

Положення, що захищаються: метод хвильового визначення координати малого витoku з газопроводу та результати досліджень нестационарних процесів при цьому.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- дано статистичну оцінку появи малих витоків із газопроводів середнього та низького тиску й їх ліквідації;
- на основі аналітичних досліджень фільтрації газу в пористому середовищі визначено просторові та часові характеристики ареалу загазованості ґрунту при появі малого витoku з газопроводу;
- на основі аналітичних досліджень нестационарних процесів у газопроводі показано можливість визначення координати малого витoku за зміщенням амплітудно-фазової характеристики;
- запропоновано новий хвильовий метод визначення координати малого витoku з газопроводу та проведено його експериментальні дослідження.

Практичне значення результатів дослідження. Новий метод хвильового пошуку координати малого витoku з газопроводу дозволить суттєво скоротити час на ліквідацію аварійних ситуацій і зменшити втрати газу при транспортуванні та розподіленні.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно. Зокрема, в опублікованих роботах автором особисто:

- проведено статистичний аналіз аварійних ситуацій у газопроводах, викликаних виникненням витoku газу [4];
- розроблено математичну модель і проведено дослідження фільтрації газу в ґрунті при появі витoku [3];
- запропоновано метод діагностування витoku газу з газопроводів газових мереж середнього та низького тисків, що базується на аналізі амплітудно-частотної характеристики нестационарного процесу [1,2];
- розроблено заходи щодо скорочення витрат на ремонтно-відновлювальні роботи та втрат газу при аваріях [6].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідались і обговорювались на :

- Міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці” (Івано-Франківськ, 2007 р.);

- 7 міжнародній науково-технічній конференції «Надежность и безопасность трубопроводного транспорта», (Новополоцк, 2011р.)

У повному обсязі результати досліджень доповідались і обговорювались на засіданні кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ та науковому семінарі факультету нафтогазопроводів в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (м.Івано-Франківськ, 2008 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано шість наукових праць, із них три у фахових наукових виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, підсумкових висновків, списку використаних джерел, який налічує 120 найменувань. Основний зміст роботи викладено на 119 сторінках машинописного тексту.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дана загальна характеристика проблеми, обґрунтовано актуальність тематики, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність досліджень, а також особистий внесок автора в їх проведенні

Перший розділ присвячено аналізу споживання газу в Україні та вивченню його втрат при транспортуванні та розподіленні.

Упродовж перших років незалежності обсяги споживання природного газу в Україні внаслідок загального згортання промислового виробництва, закриття нерентабельних підприємств і ряду інших чинників неухильно скорочувалось. Так, якщо у 1991 році було спожито 118,1 млрд. м³ газу, то у 2001 році — 70,4 млрд. м³ або майже на 40% менше. В подальшому внаслідок якісних змін і поживавлення національної економіки споживання газу зростало й у 2005 році загалом по Україні склало 76,4 млрд. м³.

Населення, навпаки, збільшувало споживання газу, пік якого прийшовся на 1996 рік. Це пояснюється зростанням рівня газифікації житлового фонду, який у 2005 році становив близько 50%.

Втрати газу зумовлені цілою низкою чинників, основними з яких є:

- недоліки засобів вимірювання витрати газу та методів, які реалізують ці засоби;
- похибки приладів обліку газу та приладів визначення фізико-хімічних параметрів газу;
- використання побутових газових плит для опалення та гарячого водопостачання внаслідок порушень у роботі систем централізованого теплопостачання та гарячого водопостачання;
- пошкодження й аварії на газопроводах за умов, коли витоки газу не обліковані;
- вимірювання побутовими лічильниками витрат у випадку неприведення об'єму газу до стандартних умов;
- недоліки в інших аспектах організації обліку витрат газу;
- незадовільна робота централізованого теплопостачання;

– фізична зношеність обладнання, що використовує газ.

Друга частина втрат газу не залежить від діяльності газових господарств і має об'єктивний характер.

Головними складовими цієї частини понаднормативних втрат є:

1. Незадовільна робота підприємств теплоенергетики, що забезпечують централізоване опалення житла та гаряче водопостачання.

2. Невідповідність норм споживання газу для населення його фактичному споживанню. Через зазначений фактор газові господарства постійно зазнають значних збитків.

3. Використання лічильників газу роторного типу. Їх встановлено більше 950 тис. штук (або практично кожен п'ятий лічильник). Після 2-3 років роботи такі лічильники мають велику від'ємну похибку вимірювання об'єму спожитого газу. За розрахунками втрати газу з цієї причини становлять близько 100 млн. м³ на рік.

4. Втрати газу внаслідок втручання в роботу приладів обліку газу та самовільного підключення споживачів до системи газопостачання.

Фізичні втрати пов'язані з тим, що мережа газопроводів досить часто прокладена на ділянках із агресивними чи вологими ґрунтами, в місцях із підвищеним ризиком електрохімічної корозії тощо, унаслідок чого матеріал труб зазнає посиленого руйнування. Крім того, частина газопроводів, особливо у західних регіонах України, вже давно перевищила свій експлуатаційний термін.

Відомо, що в процесі експлуатації магістральних газопроводів виникають порушення герметичності, котрі проявляються у вигляді витікань газу різної інтенсивності, створюють загрозу забруднення навколишнього середовища та є потенційно небезпечними для виникнення відмов системи.

На поверхні ґрунту такі витікання проявляються як температурні аномалії на природному температурному фоні та аномалії концентрацій вуглеводнів у приповерхневому шарі Землі й атмосфери. На відміну від аномалій іншого походження у зоні витікання вони практично не залежать від просторових координат і часу.

Вказані особливості стали підґрунтям для розвитку методів дистанційного (з літальних апаратів) виявлення ділянок порушення герметичності МГ. Дослідження провадилися у трьох напрямках: вимірювання радіаційних температур (Д. А. Абернати, США, 1991; Д. Пітер, США, 1984; К. Я. Казаков, Є. Н. Зеленов, Росія, 1993); вимірювання концентрацій метану в приповерхневому шарі повітря (П. Г. Філіппов, Росія, 1994; Г. Цвік, США, 1985); комплексне вивчення поля концентрацій і температур (В. В. Бабаєв, В. І. Холодов, Україна, 1991, 1994).

Незважаючи на певні успіхи в створенні методики та техніки вимірювань, пропонувані методи мали деякі невизначеності. Так, наприклад, у працях багатьох авторів були відсутні відомості про те, які мінімальні за інтенсивністю витікання газу можна виявити пропонуваним способом і чим це підтверджується. У випадку дослідження теплового поля поверхні Землі не вказувалося, як виокремлюється корисний сигнал із різноманітних перешкод,

що нерідко перевищують його за амплітудою. Аналогічні питання виникали під час дослідження поля концентрацій метану в приземному шарі повітря. Теоретичні розрахунки положення газової хмари в залежності від напрямку вітру та характеру місцевості не мали практичного підтвердження через недосконалість математичної моделі та її неадекватність реальним умовам.

Враховуючи, що наявність аномалій температур або концентрацій метану не є прямим свідченням місцезнаходження витікання газу, у зазначених працях не передбачено будь-яких методичних прийомів для ідентифікації витікань і визначення їх точного місця розташування. Те ж саме можна сказати й про координатну прив'язку аномальних ділянок магістральних газопроводів.

Другий розділ присвячено статистичним дослідженням втрат газу та фільтрації в ґрунті при утворенні витоків з газопроводу

Витоки газу з трубопроводів при транспортуванні та розподіленні виникають, в основному, внаслідок корозійного пошкодження труб. Тому прогнозування їх у часі та за просторовими координатами носить імовірнісний характер

Величина витоків із розподільних мереж низького та середнього тисків має суттєвий вплив на економічні показники системи, і, водночас, впливає на екологію регіону. Крім того, загазованість ґрунтів і атмосфери за певних умов може призвести до вибухів із усіма можливими наслідками. Тому задачі прогнозування, діагностики та ліквідації витоків газу з розподільних мереж є особливо актуальними.

Питання оцінки втрат газу при транспортуванні підіймались у працях Гончарука М. І, Капцова І. І, Середюк М. Д, Середюка О. І, Яковлева Є. І. й інших дослідників. В їх роботах дається статистична оцінка втрат газу по розподільних мережах України в цілому, встановлюються причини появи витоків, визначається величина витрати газу через корозійні пошкодження, розглядаються методи ліквідації аварійних ситуацій. Однак ряд питань статистичного характеру не може бути вирішено в загальному плані аналізу експлуатації розподільних систем і носить локальний характер, оскільки умови, в яких знаходяться газопроводи, можуть суттєво відрізнятись.

Метою проведених статистичних досліджень із оцінки втрат газу з розподільних мереж є встановлення закономірностей впливу умов експлуатації (зокрема, робочого тиску, діаметру) на інтенсивність аварійних ситуацій, пов'язаних із витоків газу, втрати газу при цьому та витрати на ліквідацію аварій.

В основу проведення досліджень покладено інформацію про експлуатацію системи розподільних газопроводів низького та середнього тиску УЕГГ «Косівгаз» за період 2008-2011 рр. В якості вихідних даних для розрахунку показників надійності мереж низького та середнього тисків для кожного з місяців вказаного періоду було вибрано: кількість аварійних ситуацій, які призводили до появи витоків газу з газопроводу; тривалість ліквідації аварійних пошкоджень; загальні втрати газу з урахуванням витоків та випорожнення трубопроводу; загальні затрати на виявлення та ліквідацію аварійних ситуацій.

Статистична інформація дозволила визначити характеристики надійності газової мережі та динаміку їх зміни протягом зазначеного терміну експлуатації в розрізі діаметрів і робочих тисків у трубопроводах.

Наробіток на відмову розраховувався протягом кожного з років експлуатації. Інтенсивність виникнення аварійних ситуацій λ є величиною, оберненою до наробітку на відмову. Середня тривалість ліквідації аварійної ситуації визначалась як відношення сумарної тривалості ліквідації всіх аварійних ситуацій на даний рік експлуатації газової мережі до загальної кількості аварійних відмов. Середні втрати газу, викликані появою витоку та протягом усього часу ліквідації аварійної ситуації, визначаються як відношення загальних витрат газу до кількості аварійних ситуацій. Середні затрати на ліквідацію аварії визначаються відношенням сумарних затрат на ліквідацію аварії в даному році до числа аварійних ситуацій.

Результати розрахунків показують, що середня інтенсивність відмов за вказаний період складає 0,0287 1/год, у т.ч. для газопроводів мережі низького тиску 0,0235 1/год. Аналізуючи розподіл інтенсивності відмов по діаметрах газопроводів, встановлено, що для газопроводів мережі низького тиску найвища інтенсивність відмов характерна для газопроводів діаметром 108 мм і складає 0,09885 1/год. Для газопроводів діаметром 89 мм цей показник складає 0,02899 1/год, тобто є в 3,4 рази меншим. Для газопроводів діаметром 76 мм інтенсивність відмов склала 0,01107 1/год. і є меншою за інтенсивність відмов газопроводів діаметром 108 мм у 8,9 рази. Для газопроводів мережі середнього тиску розподіл інтенсивності відмов по діаметрах газопроводів більш рівномірний. Найвища інтенсивність відмов характерна для газопроводів діаметром 89 мм і складає 0,03721 1/год; для газопроводів діаметром 108 мм цей показник на 22% нижчий, а для газопроводів діаметром 76 мм зменшення інтенсивності відмов складає 24,8%. На основі аналізу впливу умов експлуатації на інтенсивність відмов можна зробити висновок, що основним показником, який визначає аварійність газопроводів, є корозійна активність ґрунтів; на другому місці слід розмістити термін експлуатації ділянки, на третьому – діаметр газопроводу і на четвертому – робочий тиск. Таке рангування показників впливу на інтенсивність відмов ділянок газопроводу дасть змогу певною мірою керувати потоками відмов і своєчасно приймати заходи щодо підвищення надійності газопроводів мереж середнього та низького тисків.

Важливою характеристикою надійності є термін відновлювання ділянки газопроводу, який включає час визначення місця аварійного витоку газу, тривалість аварійно-відновлювальних робіт і час, витрачений на проведення випробування ділянки трубопроводу після ремонту. За статистичними даними середній час відновлювання за вказаний період експлуатації мережі склав 1,1654 діб, у тому числі: для газопроводів мережі низького тиску 1,2515 діб, для газопроводів мережі середнього тиску 1,040 діб. У розрізі діаметрів трубопроводів для мережі низького тиску найбільш тривалим є термін відновлення для газопроводів діаметром 86мм, який складає 1,3970 діб. Для

газопроводів діаметром 108мм термін відновлення знизився на 10,3%, а для газопроводів діаметром 76мм – на 38%.

Загалом для газопроводів мережі середнього тиску термін відновлення менший, ніж для газопроводів мережі низького тиску. Найбільше значення характерне для газопроводів діаметром 89 мм і складає 1,0736 діб, для газопроводів діаметром 76 мм термін відновлення менший на 1,2%, а для газопроводів діаметром 108 мм – менший на 9,1%. Аналіз причин зміни терміну відновлення газопроводів показує, що в даному випадку найбільш суттєве значення має час діагностики витоків, тобто час встановлення факту його появи та координати. Діаметр газопроводу та робочий тиск принципового значення не мають.

Збитки від виникнення аварійних витоків газу в мережі низького та середнього тисків оцінювалися втратами газу при аварії та загальними затратами на ліквідацію аварії (відновлення). За статистичними даними середні втрати газу при появі аварійних витоків за вказаний період становлять 6,483 тис. м³ на одну відмову, при цьому для газопроводів мережі низького тиску цей показник становить 5,674 тис. м³, а для газопроводів мережі середнього тиску – 7,643 тис м³.

Таким чином, втрати газу від витоків для газопроводів мережі середнього тиску на 25,8% більші, ніж аналогічні втрати газу з газопроводів мережі низького тиску.

У розрізі діаметрів різниця величини витоків у мережах середнього та низького тиску зростає зі збільшенням діаметру. Так, при діаметрі газопроводів 76 мм величина витоків із газопроводів мережі середнього тиску перевищувала на 13,3% аналогічну величину для газопроводів мережі низького тиску. При діаметрі газопроводу 89 мм ця різниця становить 20,2%, а для газопроводів діаметром 108мм – 31,75%.

Загальні витрати на ліквідацію аварій включають: витрати на проведення капітального ремонту; витрати, пов'язані з витратами газу, та витрати на введення ділянки в експлуатацію. Середні витрати на ліквідацію аварії за вказаний період часу складають 22,13 тис. грн., причому для газопроводів низького тиску величина витрат складає 19,466 тис. грн. на одну аварію, а для газопроводів середнього тиску – 25,983 тис. грн. на одну аварію. У розрізі діаметрів також спостерігається збільшення витрат на ліквідацію аварій у газопроводах у мережі середнього тиску в порівнянні з газопроводами мережі низького тиску. Так, при діаметрі газопроводів 76 мм витрати на ліквідацію аварій у газопроводах мережі середнього тиску перевищують аналогічні в газопроводах мережі низького тиску на 10,6%. Для газопроводів діаметром 89мм цей показник складає 21,3%, а для газопроводів діаметром 108мм – 30,7%. Така картина пояснюється збільшенням вартості труби та ізоляції при збільшенні діаметру газопроводу, а також подорожчанням земляних, зварювально-монтажних робіт.

Таким чином, для газопроводів усіх категорій характерне різке зниження інтенсивності відмов після проведення капітальних ремонтів із заміною дефектних труб, у подальшому нормальна експлуатація газопроводів протягом

двох років і стрибкоподібне зростання інтенсивності відмов на третьому році експлуатації після капітальних ремонтів. Величина тиску в газопроводі та його діаметр фактичного значення не мають.

При утворенні свищів у стінках трубопроводу витоки газу формують у ґрунті ареал загазованості, який характеризується геометричними розмірами та тривалістю. При цьому витоки з газопроводів низького та середнього тисків унаслідок незначної витрати та малих перепадів тисків можуть існувати протягом достатньо тривалого періоду часу до моменту їх виявлення. Це викликає суттєві втрати газу з одного боку та створює небезпеку при обслуговуванні газопроводу. Тому важливо прогнозувати тривалість процесу фільтрації газу до появи його на поверхні ґрунту та радіус ареалу загазованості території.

Розглядається плоска задача фільтрації газу в пористому середовищі (ґрунті) при виникненні точкового джерела, яким є витік газу з газопроводу.

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial w}{\partial t} - q \delta(y-H) \delta(x-l) \quad (1)$$

де H – глибина розміщення витоку; l – віддаль до джерела.

Граничні умови для швидкості фільтрації

$$w(x, 0, t) = 0; \quad w(x, y, 0) = 0 \quad (2)$$

Реалізація поставленої задачі методами інтегральних перетворень дозволила отримати результат у вигляді

$$w = \frac{q}{2\pi F} \int_0^{\infty} \frac{\sin \lambda y_0 \sin \lambda y}{\lambda} \left\{ [\sigma(x-x_0) - 1] \left[e^{-\lambda(x-x_0)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_0-x}{2\sqrt{\alpha t}} - \lambda\sqrt{\alpha t} \right) - e^{-\lambda(x-x_0)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x_0-x}{2\sqrt{\alpha t}} + \lambda\sqrt{\alpha t} \right) \right] - \sigma(x-x_0) \left[e^{-\lambda(x-x_0)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x-x_0}{2\sqrt{\alpha t}} - \lambda\sqrt{\alpha t} \right) - e^{-\lambda(x-x_0)} \operatorname{erfc} \left(\frac{x-x_0}{2\sqrt{\alpha t}} + \lambda\sqrt{\alpha t} \right) \right] \right\} d\lambda \quad (3)$$

Реалізація з застосуванням числових методів дозволила отримати характер розподілу швидкостей фільтрації газу в ґрунті при появі витоку з газопроводу різної інтенсивності, що подано у вигляді графіка на рисунку 1.

У результаті встановлено, що при виникненні малих витоків газу з газопроводів низького тиску їх індикація на поверхні ґрунту можлива через короткий проміжок часу (5-10 хв), залежно від властивостей ґрунту.

Ареал загазованості ґрунту витоками газу з газопроводу на глибинах, близьких до трубопроводу, займає поверхню, співрозмірну з розмірами траншеї. При наближенні до поверхні трубопроводу форма ареалу загазованості наближається до еліпса, велика вісь якого спрямована вздовж осі трубопроводу, а площа складає близько 40 м².



Рисунок 1. – Результати математичного моделювання поля швидкостей фільтрації при появі витoku з газопроводу

Третій розділ присвячено аналітичним дослідженням нестационарних процесів у газопроводах, викликаних появою аварійних витоків газу.

Малим витокom вважається такий шляховий відбір газу, поява якого не впливає на покази штатних контрольно-вимірювальних приладів у межах їх чутливості. Тому діагностувати появу та координату малого витoku за зміною параметрів режиму роботи газопроводу неможливо. Методи, що базуються на застосуванні газоаналізаторів, також неефективні, оскільки необхідно знаходитися в безпосередній близькості від місця витoku, щоб його зафіксувати, що в умовах великої протяжності магістрального газопроводу є практично нереалізованою задачею.

Ідея діагностування малих витоків із газонафтопроводів базується на дослідженнях зміни амплітудно-частотних характеристик при виникненні шляхового відбору.

Якщо у момент появи аварійного витoku тиск на початку трубопроводу змінився до величини $P(0, t) = P_1$, а в кінці – $P(L, t) = P_2$, тоді постановка задачі може бути сформульована у наступному вигляді.

Необхідно знайти розв'язок рівняння

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{2a}{c^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} + \frac{2aq}{F} \delta(x - x_1) \quad (4)$$

при початкових стаціонарних і граничних умовах $P(0, t) = P_1$, $P(L, t) = P_2$

Розв'язок шукаємо методом інтегральних перетворень, зокрема використаємо синус-перетворення Фур'є

$$\begin{aligned}
 P(x,t) = & \left(1 - \frac{x}{L}\right) \sum_{n=1}^{\infty} [P_1 - P_2(-1)^n] + \frac{qL}{c^2} \left\{ \frac{x(L-l_n)/L^2 n\pi x \leq l_n}{l_n(L-l_n)/L^2 n\pi x > l_n} \right\} + \\
 & + \frac{2}{c^2} \left(1 - \frac{x}{L}\right) e^{-\alpha x} \sum_{n=1}^{\infty} [(P_H - P_1) - (P_K - P_2)(-1)^n] \frac{1}{\omega_n} (\sin \omega_n t + \cos \omega_n t) - \\
 & - \frac{qL}{\pi^2} e^{-\alpha x} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n\omega_n} \sin \frac{\pi x}{L} [\cos(\omega_n t + \varphi) - \cos(\omega_n t + \varphi)] [\sin(\omega_n t + \varphi) - \sin(\omega_n t + \varphi)] \\
 \omega_n = & \frac{1}{2L} \sqrt{(2\pi c)^2 - \left(\frac{\lambda W}{4d} L\right)^2} \quad \varphi = \frac{\pi x_1}{L}
 \end{aligned}$$

Аналіз графіків (рисунок 2) показує, що коливання тиску в газопроводі має згасаючий характер. Поява витоку газу з газопроводу вносить корективи в характер протікання нестационарного процесу, що характеризуються зміною амплітуди, частоти коливань і зміщення фази процесу.

У процесі числового моделювання розглядалися варіанти розміщення витоку з масовою витратою 0,5% від витрати газу по магістралі, причому витік розміщувався на віддалі 20% від початку та кінця ділянки. В обох випадках витік газу включався на 70 секунд від початку нестационарного процесу, викликаного стрибкоподібною зміною тисків на початку та в кінці ділянки. Для варіанту розміщення витоку на віддалі 20% від початку ділянки характерне зменшення частоти коливного процесу та зростання амплітуди коливань. Окрім того, в момент часу, що відповідає появі витоку, спостерігається зміщення характеристики процесу по фазі. Для варіанту розміщення витоку газу на віддалі 89% від початку ділянки газопроводу характерне зростання частоти коливного процесу та зростання амплітуди коливань, але в значно меншій мірі, ніж у першому випадку. В момент часу, який відповідає появі витоку, спостерігається зміщення характеристики процесу по фазі, причому значно суттєвіше, ніж у першому випадку.

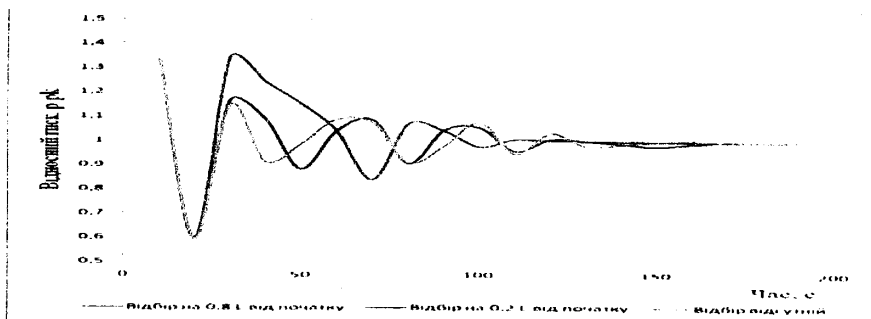


Рисунок 2. Аналіз коливання тиску в газопроводі

Проведений аналіз нестационарних процесів у газових мережах середнього та низького тисків й їх математичного моделювання показав, що малі витоки з газопроводів не можуть суттєво вплинути на параметри режиму.

Аналітичні дослідження процесу коливання тиску в газопроводах показали, що в момент появи витоку з газопроводу спостерігається фазове зміщення амплітудно-частотної характеристики на величину, пропорційну віддалі до витоку. Одержано аналітичні залежності для власної частоти коливань тиску в газопроводі та величини фазового зміщення амплітудно-частотної характеристики при появі витоку з газопроводу.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням впливу шляхового відбору газу на амплітудно-частотну характеристику газопроводу.

Результати аналітичних досліджень показали, що поява витоків із газопроводу (навіть малих за величиною) спричиняє зміни амплітудно-частотної характеристики магістралі, зокрема призводить до фазового зміщення процесу коливання тиску в рамках нестационарної течії газу. Встановлено також, що величина фазового зміщення пропорційна віддалі від початку ділянки до місця появи витоку. Цей висновок покладено в основу методу діагностування малих витоків із газопроводу мережі низького або середнього тисків.

Із одержаного розв'язку видно, що за наявності аварійного витоку з трубопроводу повинен змінитися тиск у кожній точці. Однак, якщо витік досить малий, то він впливає на загальний розподіл тисків у межах похибки вимірювання, отже зафіксувати зміну параметрів неможливо.

При виникненні аварійного витоку власна частота коливань середовища зміщується за фазою.

Отже, за величиною фази зміщення власних коливань середовища в трубопроводі можна оцінити відносну координату аварійного витоку x_1/L , незалежно від величини самого витоку. Таким чином, для діагностування малих витоків із трубопроводу слід визначити власну частоту коливань ω , середовища та слідкувати за зміщенням коливань за фазою. Якщо таке зміщення виникне, то це свідчить про наявність витоку з трубопроводу, а за величиною фазового зміщення можна оцінити лінійну координату витоку.

Зазначена ідея може бути реалізована на основі явища резонансу. Відомо, що якщо частоти власних коливань і вимушуючої сили співпадають, то це призводить до зростання амплітуди коливань.

Для практичної реалізації методу необхідно організувати в газопроводі неперервний нестационарний процес і слідкувати за коливанням тиску в часі. Однак, нестационарність викличе появу в газовому потоці інерційних сил опору, робота яких призведе до зростання гідравлічних втрат енергії. Тому така практика діагностування технологічно не виправдана.

На трубопроводі, в різних його точках по довжині, розміщені відводи. Частина з них використовується в якості моделі шляхового відбору газу. Такі відводи оснащені кранами, закритими заглушкою з каліброваним отвором для забезпечення сталості шляхового відбору за величиною витрати газу. В інших відводах розміщені первинні перетворювачі коливного процесу, сигнали з яких передаються на осцилограф С1-77, С1-103.

Окрім того, на початку ділянки трубопроводу, в кінці та біля кожного з діючих відборів розміщено манометри для контролю за величиною тиску в трубопроводі в ході проведення досліду. Величина витрати газу по лінійній ділянці газопроводу, а також величини шляхових відборів у кожному з проведених дослідів вимірювалися за допомогою лічильника газу барабанного типу СГ-5 і секундоміра.

Технологія проведення одиничного досліду з серії запланованих експериментів забезпечувала визначення зміщення по фазі амплітудно-частотної характеристики газопроводу в конкретних умовах виникнення шляхового відбору газу.

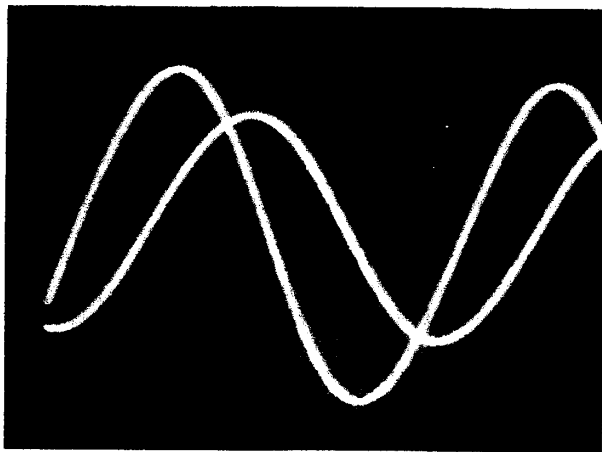


Рисунок 3 – Визначення фазового зміщення в умовах проведення експерименту
Результати проведених експериментів дозволили отримати емпіричну формулу для величини фазового зміщення

$$\delta\varphi = 0.55\delta\alpha^{1.3}\delta q^{0.9}$$

де $\delta\alpha = x/L$; $\delta q = q/Q$

Метою проведення дослідно-промислової апробації запропонованого методу діагностування появи та місцезнаходження малого витоку газу з газопроводів газових мереж низького та середнього тисків була перевірка достовірності результатів фазового зміщення процесу коливання тиску в газовому потоці при виникненні витоку та можливості визначення його координати в умовах, максимально наближених до виробничих.

Полігоном для проведення дослідно-промислових випробувань запропонованого методу діагностування витоків обрано газопровід середнього тиску діаметром 108x4 мм, прокладений уздовж вул. Шкільна с. Старі Куті Косівського району.

За статистичними даними про експлуатацію газопроводу встановлено, що в 2008 році за січень місяць зафіксовано 8 аварій, які супроводились

витоками газу, для ліквідації яких затрачено, в загальному, 6 діб. Загальні втрати газу при аваріях склали 52096 м^3 , а загальні затрати на ліквідацію аварій – 179853 грн. За наведеними даними розраховано показники надійності: інтенсивність відмов, яка склала $0,913 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$, та коефіцієнт готовності, який склав 0,9836.

14 листопада 2010 року на газопроводі було створено систему для реалізації запропонованого методу контролю за появою витоків.

У початковій точці газопроводу встановлено камеру, в якій розміщено низькочастотний генератор звукових коливань ГЗ-118 потужністю 10 Вт, виводи якого через спеціальні ущільнення з'єднані через регулятор частоти з джерелом струму. На віддальх 41,7 м, 329,5 м, 599,1 м, 807,3 м у газопровід були врізані відводи з кранами, які імітували аварійні витoki газу з газопроводу, а в кінцевій точці, на віддалі 984,4 м, у газопровід врізано відвід, у який вмонтовано приймач звукових коливань із передачею сигналу на осцилограф СІ -79, котрий фіксує фазове зміщення амплітудно-частотної характеристики отриманого сигналу. Для спрощення слідкування та реєстрації фазового зміщення система обладнана фазовим аналізатором, що подає звуковий сигнал у момент виникнення витoku та записує час надходження сигналу.

7 листопада 2011 року о 11 год. 33 хв. система слідкування зареєструвала сигнал про фазове зміщення в $31^{\circ}25'$, що відповідно до даних таблиці 4.5 відповідає відстані 622 м від початку газопроводу, й об 11 год. 40 хв. було перекрито подачу газу в газопровід. О 13 год. 40 хв. на місце аварії виїхала бригада для ліквідації витoku. За допомогою газоаналізатора встановлено точне місце виникнення витoku, яке знаходилось на відстані 634 м від початку, тобто похибка прогнозу склала 12 м або 1,9%. До 14 год 45 хв. тривали земляні роботи з відкриття газопроводу, о 15 год. 05хв. почалися зварювально-монтажні роботи, внаслідок яких було вирізано котушку довжиною 2,3 м і замінено її новою трубою. О 16 год. 15 хв. було відновлено подачу газу в газопровід, а о 16 год 55 хв. повністю завершено ліквідацію витoku. Таким чином, тривалість операції від виявлення витoku до його ліквідації склала 5 год. 22 хв., а власне тривалість ліквідаційних робіт склала 3 год. 15 хв. Втрати газу внаслідок виникнення та ліквідації витoku склали 680 м^3 ; затрати на ліквідацію аварії – 2,4 тис. грн.

29 листопада 2011 року аналогічний витік газу був відслідкований системою на віддалі 365 м від початку газопроводу о 18 год. 20 хв.

Зміщення фаз амплітудно-частотної характеристики склало $17^{\circ}36'$, що відповідає відстані до місця витoku 383,8 м, тобто похибка складає 18,8 м або 5,15%. Тривалість операції від виявлення витoku до його ліквідації склала 6 год. 42 хв., а власне тривалість ліквідаційних робіт склала 4 год. 25 хв. Втрати газу внаслідок виникнення та ліквідації витoku склали 664 м^3 , а затрати на ліквідацію аварії – 2,24 тис. грн.

Таким чином, із результатів апробації запропонованої системи відстеження появи витоків із газопроводів видно високу економічну й екологічну ефективність розробки.

ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень встановлено закономірності протікання нестационарних процесів у газопроводах мереж низького та середнього тисків, що дозволило розробити методику діагностування малих витоків із газопроводів на основі аналізу амплітудно-частотних характеристик газових потоків, а саме:

1. Проведений аналіз аварійних витоків газу з газових мереж УЕГГ «Косівгаз» за період 2008 – 2011 років і статистична обробка експлуатаційних параметрів показали, що для газопроводів низького та середнього тиску характерне різке зниження інтенсивності відмов після проведення капітальних ремонтів із заміною дефектних труб, у подальшому нормальна експлуатація газопроводів на протязі двох років і стрибкоподібне зростання інтенсивності відмов на третьому році експлуатації після капітальних ремонтів, величина тиску в газопроводі та його діаметру практичного значення не мають.

2. Запропонована математична модель і її реалізація дозволили встановити, що при виникненні малих витоків газу з газопроводів низького тиску індикація їх на поверхні ґрунту можлива через короткий проміжок часу (5-10хв), у залежності від властивостей ґрунту. Ареал загазованості ґрунту витокami газу з газопроводу на глибинах, близьких до трубопроводу, займає поверхню, співрозмірну з розмірами траншеї; при наближенні до поверхні трубопроводу форма ареалу загазованості наближається до еліпса, велика вісь якого спрямована вздовж осі трубопроводу, а площа складає близько 40 м².

3. Аналітичні дослідження процесу коливання тиску в газопроводах показали, що в момент появи витoku з газопроводу спостерігається фазове зміщення амплітудно-частотної характеристики на величину, пропорційну віддалі до витoku. Одержано аналітичні залежності для власної частоти коливань тиску в газопроводі та величини фазового зміщення амплітудно-частотної характеристики при появи витoku з газопроводу. Запропоновано методику діагностування малих витоків із газопроводів низького та середнього тисків, що базується на створенні гармонічних звукових коливань у газовому потоці та визначення фазового зміщення амплітудно-частотної характеристики в момент появи витoku газу.

4. Створено експериментальний стенд і проведено серії дослідів за методикою раціонального планування експерименту з метою встановлення залежності між фазовим зміщенням амплітудно-частотної характеристики та координатою витoku газу з газопроводу, запропоновано емпіричну залежність. Проведена апробація запропонованої методики діагностування малих витоків із газопроводу на газопроводі середнього тиску газової мережі УЕГГ «Косівгаз» показала адекватність і надійність методу.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних виданнях:

1. Грудз В.Я. Математичні моделі для діагностування гідравлічного стану газових мереж/ В. Я. Грудз, Я. В. Грудз, В. Д. Фейчук// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Вип.35. – 1998. – С.218-221
2. Грудз В.Я. Діагностування малих витоків з трубопроводу/ В. Я. Грудз, Я. В. Грудз, В. Д. Фейчук// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – Вип.36. – 1999. – С.42-44
3. Грудз В.Я. Математичне моделювання фільтрації газу в ґрунті внаслідок виникнення малих витоків в газопроводі./В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.В. Фейчук, Н.Я. Дрінь, Р.Б. Стасюк//
4. Грудз Я. В. Статистична оцінка втрат газу в розподільчих мережах/ Я.В. Грудз, Н.Я. Дрінь, В.В. Фейчук // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – №2. – 2012. – С. 34-36
5. Грудз В.Я. Оцінювання величин втрат газу і площ забруднея при пошкодженні магістрального газопроводу/В.Я.Грудз, Я.В. Грудз, В.В. Фейчук, Н.Я. Дрінь, Р.Б. Стасюк //Надежность и безопасность трубопроводного транспорта. Материалы 7 международной научно-технической конференции. – Полоцк, 2011
6. 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.

АНОТАЦІЯ

Фейчук В.В.. – Діагностування малих витоків із газових мереж. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 - Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2012.

Дисертацію присвячено удосконаленню методів діагностування витоків із газопроводів газових мереж низького та середнього тиску внаслідок корозійних пошкоджень стінок труб. У роботі виконано дослідження впливу появи витoku з газопроводу на амплітудно-частотну характеристику коливання тиску в газовому потоці. Для цього створено математичні моделі та приведено результати експериментальних і статистичних досліджень процесу, в результаті запропоновано методику діагностування.

Ключові слова: газова мережа, працездатність, витік газу, діагностика, технічний стан, прогнозування.

ANNOTATION

Feychuk V.V.. it is Diagnosticating of small sources from gas networks. it is Manuscript.

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 05.15.13 is the Pipeline transport, depositories of oil and gas. Ivano-Francovsk national technical university of oil and gas. it is Ivano-Francovsk, 2012.

Dissertation is devoted the improvement of methods of diagnosticating of sources from the gas pipelines of gas networks of low and middle pressure as a result of corrosive damages of walls of pipes.. Research of influence of appearance of source is in-process executed from a gas pipeline on gain-frequency description of pressure fluctuation in a gas stream. For this purpose mathematical models are created and the results of экспериментальных are resulted and statistical researches of process, the method of diagnosticating is offered as a result.

Keywords: gas network, capacity, escaped gas, diagnostics, technical state, prognostication.

АННОТАЦИЯ

Фейчук В.В.. – Диагностирование малых утечек из газовых сетей. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.15.13 - Трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. - Ивано-Франковск, 2012.

Диссертация посвящена усовершенствованию методов диагностирования утечек из газопроводов газовых сетей низкого и среднего давления в результате коррозионных повреждений стенок труб. В работе выполнено исследование влияния появления утечки из газопровода на амплитудно-частотную характеристику колебания давления в газовом потоке. Для этого созданы математические модели и приведены результаты экспериментальных и статистических исследований процесса, в результате предложена методика диагностирования.

На основе статистических исследований установлено, что для газопроводов низкого и среднего давления характерно резкое снижение интенсивности отказов после проведения капитальных ремонтов с заменой дефектных труб, в дальнейшем нормальная эксплуатация газопроводов в течение двух лет и скачкообразный рост интенсивности отказов на третьем году эксплуатации после капитальных ремонтов, величина давления в газопроводе и его диаметра практического значения не имеют.

Предложенная математическая модель позволяет повысить эффективность диагностирования малых утечек из газопроводов и оценить размеры ареалов загазованности при этом.

При возникновении малых утечек газа из газопроводов низкого давления

индикация их на поверхности почвы возможна через короткий промежуток времени (5-10хв) в зависимости от свойств почвы.

Ареал загазованности почвы утечками газа из газопровода на глубинах, близких к трубопроводу, занимает поверхность, соразмерную с размерами траншеи. При приближении к поверхности трубопровода форма ареала загазованности приближается к эллипсу, большая ось которого направлена вдоль оси трубопровода, а площадь составляет близко 40 м^2

Проведенный анализ нестационарных процессов в газовых сетях среднего и низкого давления и их математического моделирования показал, что малые утечки из газопроводов не могут существенно повлиять на параметры режима.

Аналитические исследования процесса колебания давления в газопроводах показали, что в момент появления утечки из газопровода наблюдается фазовое смещение амплитудно-частотной характеристики на величину, пропорциональную расстоянию к истоку.

Получены аналитические зависимости для собственной частоты колебаний давления в газопроводе и величины фазового смещения амплитудно-частотной характеристики при появлении утечки из газопровода.

Предложена методика диагностирования малых истоков из газопроводов низкого и среднего давления, которая базируется на создании гармонических звуковых колебаний в газовом потоке и определении фазового смещения амплитудно-частотной характеристики в момент появления истока газа.

Создан экспериментальный стенд и проведены серии опытов за методикой рационального планирования эксперимента с целью установления зависимости между фазовым смещением амплитудно-частотной характеристики и координатой утечки газа из газопровода.

Предложена эмпирическая зависимость, связывающая фазовое смещение амплитудно-частотной характеристики газового потока в газопроводе с координатой места утечки газа.

Проведенная апробация предложенной методики диагностирования малых утечек из газопровода на газопроводе среднего давления газовой сети УЭГХ «Косивгаз» показала адекватность и надежность метода.

Ключевые слова: газовая сеть, работоспособность, утечка газа, диагностика, техническое состояние, прогнозирование.

НТБ
ІФНТУНГ



an2286