

622.691.4  
Д 69

Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу

**ДОРОШЕНКО ЯРОСЛАВ ВАСИЛЬОВИЧ**



УДК 622.691.4 (04)

Д 69

**РОЗРОБКА МЕТОДІВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПОШКОДЖЕНЬ  
ГАЗОПРОВОДУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТНИХ РОБІТ**

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2006

П/ІНВ

Дисертацією є рукопис

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

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Грудз Володимир Ярославович**  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач 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

кандидат т арпаттрансгаз",  
заступник д

**Провідна у**

Захист відб спеціалізованої  
вченої рад му технічному  
університе Івано-Франківськ,  
вул. Карпат

З дисерта бліотеці Івано-  
Франківськ зу за адресою:  
76019, Укр

Автореферат розісланий " 5 " вересня 2006 р.

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



О.В. Корнута

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Газотранспортна система України є однією з найпотужніших в світі за обсягом транзиту природного газу та однією з найстаріших у Європі. На сьогодні близько 29 % складають газопроводи, що відпрацювали свій амортизаційний термін (експлуатуються понад 33 роки). Крім того, частина газопроводів ізольована малонадійним стрічковим полімерним покриттям, яке практично вичерпало свій ресурс. Переізоляція, ремонт газопроводів і заміна труб стають однією з основних проблем.

Старіння газопроводів, неякісне ізоляційне покриття створюють загрозу різкого збільшення кількості аварійних витоків газу. Сьогодні на усунення аварійних дефектів витрачають значні зусилля, час та кошти. Наявна технологія ремонту навіть незначних наскрізних дефектів стінки труби газопроводу та заміни протяжних дефектних ділянок новою трубою потребує припинення транспортування газу, випорожнення ділянки газопроводу, продувки газопроводу та відновлення перекачування. При цьому газопровід простоє в середньому більше 20 год, споживачі не отримують сировину, внаслідок чого порушується їх режим роботи, втрачається значна кількість газу. Так під час випорожнювання ділянки магістрального газопроводу між лінійними кранами перед ремонтом та продувки після проведення ремонтних робіт втрачається до 2-3 млн. м<sup>3</sup> газу.

Скорочення втрат перекачуваного газу під час проведення ремонтних робіт на діючому газопроводі є одним з перспективних напрямків енергозбереження в газопровідному транспорті, яке сьогодні набуло особливої актуальності, це зумовлено такими причинами:

- зростання ціни на газ;
- значний обсяг старих основних фондів, який постійно зростає;
- переважна більшість вітчизняних родовищ перейшли в стадію падаючого видобутку;
- розробка нових родовищ потребує значних інвестицій.

Таким чином, ще більше загостриться наявна проблема відновлення герметичності газопроводу без припинення транспортування газу та заміни протяжних дефектних ділянок газопроводу, застарілих і дефектних кранових вузлів без випорожнення та продувки газопроводу. Це вимагає розроблення спеціальних методів локалізації пошкоджень газопроводу, які дозволять запобігти втратам газу під час проведення ремонтних робіт та в деяких випадках проводити ремонтні роботи, не припиняючи транспортування газу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках Національної програми "Нафта і газ України до 2010 року", теми № 45.950/2003-2003 ДК "Укртрансгаз" "Розробка типового регламенту технічного обслуговування та ремонту лінійної частини магістральних газопроводів", теми № 45.50/2003-2004 ДК "Укргазвидобування" "Розробка технології ремонту газопроводів під тиском" та теми № 45.146/2002-2002 Д

НТБ  
ІФНТУНГ



обслуговування та ремонту лінійної частини і технологічного обладнання промислових газопроводів".

**Мета і завдання дослідження.** Розробка методів локалізації наскрізних дефектів і ділянок газопроводу та дослідження ефективності їх застосування.

Вказана мета досягається шляхом реалізації таких завдань:

1. Розробити конструкцію пристрою для локалізації місця витoku газу з газопроводу і проведення ремонту без зупинки перекачування.
2. Теоретично дослідити динаміку руху розробленого пристрою для локалізації місця витoku в потоці транспортованого газу до місця аварійного витoku газу.
3. Дослідити вплив динамічно прикладених навантажень на пристрій для локалізації місця витoku та стопорний вузол під час зупинки пристрою в місці аварійного витoku.
4. Оцінити ефективність роботи газопроводу під час часткового перекриття його порожнини пристроєм для локалізації місця витoku і експериментально дослідити динаміку руху моделі пристрою.
5. Розробити конструкцію пристрою для локалізації ділянки газопроводу і теоретично дослідити процес локалізації.

*Об'єкт дослідження:* лінійні ділянки газопроводів з пошкодженнями.

*Предмет дослідження:* локалізація пошкоджень газопроводу.

*Методи дослідження.* Теоретичні дослідження динаміки руху пристрою для локалізації місця витoku в потоці транспортованого газу до місця аварійного витoku та процесу локалізації ділянки газопроводу пристроєм для локалізації ділянки газопроводу проведено методами математичного моделювання нестационарних газодинамічних процесів та сучасними методами реалізації моделей. Дослідження впливу динамічно прикладених навантажень на пристрій для локалізації місця витoku та стопорний вузол під час зупинки пристрою в місці аварійного витoku проведено методом скінчених елементів. Експериментальні дослідження проводились з застосуванням методів планування експерименту. Основні висновки роботи узгоджуються з відповідними даними теоретичних та експериментальних досліджень.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Розроблено нові методи локалізації місця витoku газу без припинення транспортування газу і локалізації ділянки газопроводу.

Проведено теоретичні дослідження динаміки руху пристрою газопроводом з врахуванням впливу аварійного витoku газу.

Досліджено вплив динамічно прикладених навантажень на пристрій для локалізації місця витoku та стопорний вузол під час зупинки пристрою в місці аварійного витoku.

Експериментально досліджено динаміку руху моделі пристрою для локалізації місця витoku трубопроводом та вплив часткового перекриття трубопроводу моделлю пристрою на ефективність його роботи.

**Практичне значення одержаних результатів.** Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили розробити метод локалізації наскрізних дефектів стінки труби, що дає змогу провести ремонт газопроводу,

не припиняючи транспортування газу, та метод локалізації ділянки трубопроводу, що дозволить замінити протяжні дефектні ділянки і застарілі та дефектні кранові вузли без випорожнення та продувки газопроводу.

Розроблений метод локалізації наскрізних дефектів газопроводу пристроєм для локалізації місця витoku впроваджений у Первомайському ЛВУМГ (УМГ Черкаситрансгаз).

**Особистий внесок здобувача.** Розроблено нові методи локалізації місця витoku газу з газопроводу і локалізації ділянки газопроводу та технології проведення ремонтних робіт із застосуванням пристроїв [1, 2, 5, 6, 7].

Виконано теоретичні дослідження впливу аварійного витoku газу на динаміку руху пристрою газопроводом, проведено аналіз процесу гальмування пристрою для локалізації місця витoku газу з газопроводу та оцінено ефективність роботи газопроводу під час часткового перекриття його порожнини пристроєм для локалізації місця витoku [1, 3, 7].

Автор брав безпосередню участь у розробці, споруджуванні експериментального стенду, виконав планування та провів експериментальні дослідження, обробив і проаналізував одержані результати [4].

Автор брав безпосередню участь у впровадженні методу локалізації наскрізних дефектів газопроводу пристроєм для локалізації місця витoku у виробництво.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи висвітлені в доповідях і повідомленнях на:

- третій конференції молодих спеціалістів ДК "Укргазвидобування" (м. Львів, 2003);

- першій міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених "Актуальні проблеми розвитку нафтогазової галузі" (м. Київ, ДП "Науканафтогаз", 2005);

- семінар-наradі "Організація експлуатації та ремонту газотранспортної системи НАК "Нафтогаз України"" (м. Яремче, 2005);

- засіданні секції "Транспорту, підготовки і переробки газу" Вченої Ради Українського науково-дослідного інституту природних газів (м. Харків, 2005).

Результати дисертаційної роботи в повному обсязі доповідались на науковому семінарі кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтосовищ та міжкафедральному науковому семінарі факультету нафтогазопроводів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу в 2005-2006 рр.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 7 друкованих робіт, з яких 4 статті у фахових виданнях України та 2 патенти.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який містить 122 найменування, та чотирьох додатків. Текстова частина викладена на 116 сторінках комп'ютерного набору і містить 47 рисунків та 9 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми досліджень, висвітлені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів, сформульовані мета й задачі досліджень, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведений аналіз стану газотранспортної системи (ГТС) України, причин виникнення відмов та методів ремонту лінійної частини газопроводів.

Газотранспортна система (ГТС) України одна з найпротяжніших та одна з найстаріших у Європі. Сьогодні понад 29 % газопроводів відпрацювали свій амортизаційний строк, 31 % експлуатуються від 21 до 33 років. Більше третини газопроводів, споруджених у кінці 70-х і на початку 80-х років, коли щорічно вводили декілька тисяч кілометрів газопроводів діаметром 1220-1420 мм, мають малонадійне антикорозійне покриття з полімерних пліткових матеріалів холодного нанесення з гарантійним строком експлуатації 10-15 років, що менше амортизаційного строку і суттєво менше фактичного строку експлуатації трубопроводів. З часом адгезійні властивості плівки знижуються і на багатьох ділянках вона втрачає свої якості, а отже на цих газопроводах слід очікувати масових корозійних пошкоджень.

Тому проблема забезпечення надійності та безаварійної роботи об'єктів ГТС України що року набуває важливішого значення. За умов обмеженого фінансування і ресурсів на реконструкцію та технічне переозброєння обсяг старих основних фондів постійно зростає, що може привести до росту аварійності газопроводів, а отже спричинити зниження рівня надійності роботи ГТС і, як наслідок, зривів плану подачі газу споживачам, втрат продукту, простою експлуатаційного обладнання та нанесення екологічних збитків довкіллю.

Основною причиною відмов газопроводів є корозія (воднева, сірководнева, низькотемпературна тощо), рідше – дефекти металу труб і зварювальних з'єднань, брак будівельно-монтажних робіт, механічні пошкодження, порушення правил експлуатації та техніки безпеки.

Корозія суттєво зменшує строк експлуатації газопроводів. За наявності якісної ізоляції поверхні трубопроводу в сукупності з катодним захистом труба досить повільно рівномірно кородує. Однак ситуація ускладнюється через старіння ізоляційної плівки, яке спричинює місцеве відшарування і наскрізне її руйнування, що в свою чергу призводить до виникнення осередків корозії і наскрізних корозійних пошкоджень стінки труби, які є основною причиною аварій на лінійній частині газопроводів. В умовах експлуатації газопроводів рівномірна корозія труби по периметру практично не трапляється. Корозія має локальний характер, так що діаметр корозійних пошкоджень значно менший розмірів труби.

Все це на фоні старіння газопроводів приводить до збільшення обсягів ремонту лінійної частини газопроводів. Масштаби ГТС України потребують щорічного виконання значних обсягів капітального ремонту і реконструкції

газопроводів, удосконалення технології та організації їх обслуговування і ремонту.

Сучасні умови господарювання вимагають нового підходу до проведення ремонту газопроводів. Необхідно застосовувати економічні технології ремонту, високоефективне ремонтне обладнання, підвищити безпеку ремонтних робіт, зменшити втрати продукту та уникати забруднення довкілля під час проведення ремонтних робіт є пріоритетною задачею. Ремонт системи магістральних газопроводів ускладнюється вимогою не тільки збереження досягнутої продуктивності системи і обов'язкового постачання газу в договірних обсягах усім внутрішнім і зарубіжним споживачам, але і збільшення пропускної здатності ГТС та зменшення втрат газу під час проведення ремонтних робіт. Тому ці питання були предметом досліджень багатьох вчених: Березіна В.Л., Бородавкіна П.П., Бута В.С., Грудза В.Я., Іванова В.А., Капцова І.І., Шлапака Л.С., Хретініна І.С. та інших.

Значна увага приділена розгляду тенденцій з розробки методів ремонту лінійної частини газопроводів. На основі аналізу літературних джерел систематизовано наявні методи локалізації місця проведення ремонтних робіт.

Аналіз методів ремонту наскрізних дефектів стінки труби та заміни протяжних дефектних ділянок газопроводу показав, що одним з перспективних напрямів, який дозволить суттєво знизити втрати газу, є розробка ефективних методів локалізації пошкоджень трубопроводу з допомогою спеціальних перекриваючих пристроїв.

Проведена класифікація існуючих перекриваючих пристроїв дозволила виділити два найперспективніші напрямки розробки перекриваючих пристроїв:

- пристрої, рухаються в потоці транспортованого газу та зупиняються в місці проведення ремонтних робіт і локалізують наскрізний дефект стінки труби та дозволяють провести ремонт газопроводу без зупинки транспортування газу;

- пристрої, які рухаються в потоці транспортованого газу і локалізують ділянку газопроводу та дозволяють провести заміну кранових вузлів, протяжних дефектних ділянок газопроводу без випорожнення та продувки.

**Другий розділ** присвячено розробці та теоретичному дослідженню технології локалізації наскрізних дефектів газопроводу.

Ремонт аварійних витоків газу з газопроводу без припинення перекачування є найбільш ефективний вид ремонту, так як збитки зводяться до мінімуму. Однак цей вид ремонту передбачає наявність технічної бази, яка дозволяє локалізувати місце витoku та провести ремонт без припинення транспортування газу.

За даними Європейської організації EGIG, яка співпрацює з дев'ятьма найбільшими газотранспортними підприємствами Західної Європи і з 1970 року збирає дані щодо відмов газопроводів витoki складають 72 % від загальної кількості відмов. Решта 28 % складають розриви. При цьому 92 % відмов причиною яких є корозія складають витoki, а 8 % розриви. У 4 % усіх випадків відмов згідно бази даних EGIG спостерігалось запалення газу.

Метод локалізації місця витoku газу з газопроводу, як частина комплексу ремонтно-технологічного обладнання, призначений для швидкої і своєчасної локалізації витоків газу, осьова довжина яких не більша три товщини стінки газопроводу, не припиняючи транспортування газу з забезпеченням надійної герметизації зони ремонтних робіт на весь час їх проведення.

На основі аналізу ремонтних ситуацій розроблено конструкцію пристрою для локалізації місця витoku газу з газопроводу (рис. 1), який у разі виявлення витoku газу 1 з газопроводу 2 по команді запасується в камеру запуску. Під дією напору транспортованого продукту пристрій рухається газопроводом 2 до місця витoku газу 1 в потоці транспортованого газу, зупиняється в місці проведення ремонтних робіт за допомогою стопорного вузла 3 та локалізує виток газу 1, еластичними манжетами 4 і кільцевою резиною смужкою 5, яка притискається до стінки газопроводу 2 ущільнюючими башмаками, що тягами зв'язані з штоком 6, який взаємодіє з стопорним вузлом 3. Після завершення ремонтних робіт пристрій переводять у транспортне положення і в потоці транспортованого газу переміщується до камери прийому. Пристрій перекриває газопровід 2 частково, перепускаючи газ через корпус, і дозволяє проводити ремонтні роботи не припиняючи перекачування.

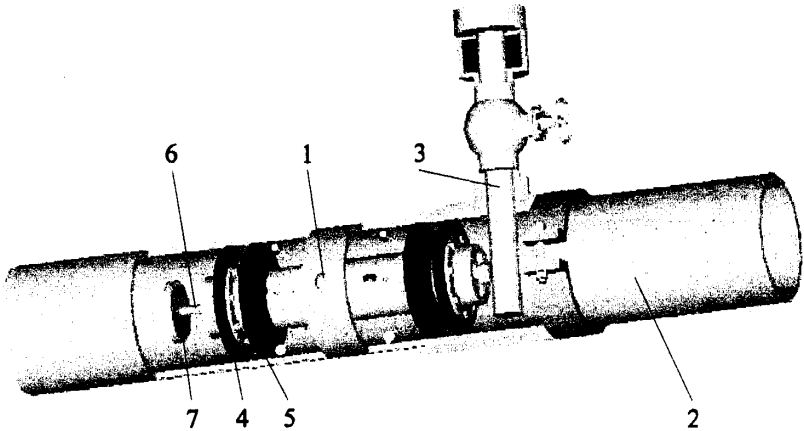


Рис. 1. Локалізація місця витoku газу з газопроводу:

- 1 – виток газу; 2 – газопровід; 3 – стопорний вузол; 4 – еластична манжета;  
5 – кільцева резинова смужка; 6 – шток; 7 – заглушка.

Для практичної реалізації методу локалізації місця витoku газу з газопроводу важливим елементом операції є доставка пристрою для локалізації місця витoku до місця пошкодження в потоці газу.

Проблемі математичного моделювання процесу руху твердих тіл газопроводом присвячено ряд праць, в яких теоретично досліджено динаміку руху твердих тіл трубопроводом. Однак авторами цих праць не досліджено вплив аварійного витoku газу на динаміку руху твердого тіла, що має важливе значення для оперативного-диспетчерського регулювання режиму роботи



газопроводу, вибору оптимального режиму перекачування газу та регулювання швидкістю руху пристрою.

В основу математичної моделі нестационарного руху газу газопроводом під час руху пристрою для локалізації місця витoku в потоці перекачуваного продукту до місця пошкодження покладена система нелінійних диференціальних рівнянь часткових похідних, що містить рівняння руху газу та рівняння нерозривності, які отримані на основі законів збереження маси, енергії і кількості руху.

Запропонований алгоритм реалізації математичної моделі дозволив визначити розподіл значень експлуатаційних параметрів нестационарного газодинамічного режиму по довжині газопроводу під час руху пристрою до місця аварії, визначити характер зміни швидкості руху пристрою та розрахувати час доставки пристрою до місця аварії. З метою реалізації запропонованого алгоритму проведено розрахунки для умов газопроводу "Союз" на 1558 км (ділянка Первомайск–Машевка) якого ліквідовано виток газу вирізанням дефектної ділянки з припиненням транспортування газу і втратою в результаті випорожнення та продувки ділянки 1542 км – 1579,4 км газопроводу "Союз" 2659563 м<sup>3</sup> газу. Під час проведення комплексу ремонтних робіт газопровід простоював 37 год. Виток газу знаходився на відстані 103,8 км від компресорної станції.

За результатами розрахунків побудовано криві розподілу тиску в процесі руху пристрою газопроводом до місця витoku газу для різних значень початкового  $P_1$  і кінцевого  $P_2$  тиску (рис. 2). Розрахунковий час доставки пристрою до місця витoku склав від 5 до 8 годин залежно від початкового і кінцевого тиску. Результати розрахунків показують, що при сталому початковому тиску, внаслідок падіння тиску по довжині газопроводу, швидкість пристрою постійно зростає, особливо перед місцем аварійного витoku газу, де вона збільшується до 15 % (рис. 3). Для зменшення швидкості руху пристрою перед місцем аварійного витoku газу треба відрегулювати режим роботи газопроводу, змінюючи швидкість обертання роторів нагнітачів на компресорній станції з метою зменшення початкового тиску.

У кожному конкретному випадку необхідно проводити економічну оцінку доцільності застосування розробленого методу. Потрібно розрахувати обсяг газу, який буде втрачено через аварійний виток за час руху пристрою до місця пошкодження і порівняти його з обсягом газу, який буде втрачено в результаті випорожнення та продувки газопроводу. Тому досліджено залежність обсягу втраченого газу через аварійний виток за час доставки пристрою до місця пошкодження газопроводу від діаметра витoku. Так, при відстані від компресорної станції до місця витoku газу 103,8 км та діаметрі аварійного витoku 30 мм обсяг втраченого газу через аварійний виток за розрахунковий час доставки пристрою до місця пошкодження становить 23760 м<sup>3</sup>, що складає 0,9 % від обсягу газу втраченого в результаті випорожнення та продувки газопроводу.

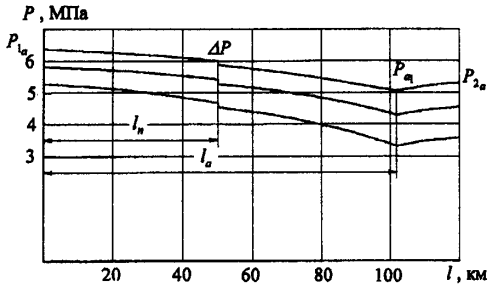


Рис. 2. Зміна тиску по довжині газопроводу під час руху пристрою для локалізації місця витіку в потоці транспортованого продукту до місця аварії.

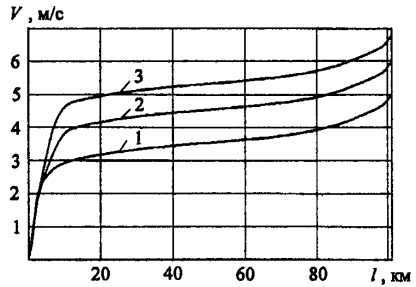


Рис. 3. Зміна швидкості руху пристрою для локалізації місця витіку по довжині газопроводу:

1 –  $P_{1a} = 5,3$  МПа; 2 –  $P_{1a} = 5,8$  МПа;

3 –  $P_{1a} = 6,4$  МПа.

Аналіз статистичних даних свідчить про нерівномірність розподілу аварійності по довжині газопроводу. Статистика корозійних відмов магістральних газопроводів показує, що на перших ділянках, довжиною до 5 км від компресорної станції по ходу газу, зосереджено до 22 % усіх відмов зумовлених корозією, а з віддаленням від компресорної станції на 100 км – менше ніж 1 % відмов на кожні 5 км газопроводу. А тому обсяг втраченого газу через аварійний виток за час доставки пристрою до місця аварії в більшості випадків буде незначний.

Задача дослідження впливу динамічно прикладених навантажень, які достатньо інтенсивно змінюються в часі і мають ударний характер, на пристрій для локалізації місця витіку та стопорний вузол в момент зіткнення пристрою з стопором є об'ємною і повинна вирішуватись в трьохвимірній постановці. Оскільки її вирішити аналітичним методом неможливо, розрахунки було проведено методом скінчених елементів з допомогою програмного пакету для розрахунку і моделювання навантажень в різних системах MSC.NASTRAN.

Рівняння динаміки для малих переміщень точок має вид

$$\{M\} \cdot \{\ddot{x}\} + \{B\} \cdot \{\dot{x}\} + \{K\} \cdot \{x\} = \{F(t)\}, \quad (1)$$

де  $\{M\}$  – матриця мас конструкції;  $\{x\}$  – вектор вузлових переміщень (крапкою та двома крапками позначені перша і друга похідна по часу відповідно);  $\{B\}$  – матриця коефіцієнтів сил в'язкого демпфування (пропорційних швидкостям вузлових переміщень);  $\{K\}$  – матриця жорсткості;  $\{F\}$  – вектор вузлових сил, як функція часу;  $t$  – час.

Для розв'язку задачі застосовувались два основних методи:

- безпосереднє числове інтегрування по часу рівняння (1);
- розкладання вектора вузлових переміщень  $\{x\}$  в ряд за формами власних

коливань.

Досліджено залежність максимальних еквівалентних напружень у стопорному вузлі в момент зіткнення з ним пристрою для локалізації місця витоку від швидкості руху пристрою перед місцем аварійного витоку газу, для різних значень діаметра стопора. Відмічено різке зростання максимальних еквівалентних напружень у стопорному вузлі при діаметрі стопора менше 150 мм.

В результаті розрахунків отримано трьохвимірні кольорові епюри розподілу максимальних еквівалентних напружень, відповідно шкалі значень, на контурах і в характерних перерізах стопорного вузла та пристрою для локалізації місця витоку обрахованих по гіпотезі енергії формозміни Фон Мізеса, трьохвимірну кольорову епюру максимальних сумарних переміщень точок стопорного вузла, яка відображає його деформований стан. Побудовано графіки зміни еквівалентних напружень в часі в максимально напружених елементах стопорного вузла і пристрою.

Проведені дослідження дозволяють проектувати оптимальні геометричні розміри стопорного вузла і корпусу пристрою залежно від швидкості руху пристрою для локалізації місця витоку, яку визначають за розробленим алгоритмом реалізації математичної моделі нестационарного руху газу в газопроводі під час руху пристрою в потоці перекачуваного продукту до місця аварії, що дозволить забезпечити працездатність конструкцій під час зіткнення пристрою з стопорним вузлом та міцність трубопроводу.

Після зупинки пристрою для локалізації місця витоку в місці аварії перекачування газу не припиняється, а газ проходить через корпус пристрою. Пристрій є місцевим опором, який з'являється в місці часткового перекриття в момент зупинки пристрою і відкриття його корпусу.

Часткове перекриття порожнини газопроводу приводить до незначного підвищення тиску за пристроєм та пониження перед ним. У результаті отримуємо сходинку на кривій розподілу тиску в точці часткового перекриття, причому величина цієї сходинки дорівнює величині падіння тиску на пристрої, яка прямопропорційна коефіцієнту місцевого гідравлічного опору пристрою. Основна складність цієї проблеми полягає в визначенні коефіцієнта місцевого гідравлічного опору пристрою, так як прості місцеві опори, з яких складається його перепускна частина, близько розміщені один біля одного і здійснюють вплив один на одного, а оскільки один з простих місцевих опорів, змінюючи режим течії, змінює коефіцієнт місцевого опору другого, що розміщений за ним, то теоретично визначити коефіцієнт місцевого опору пристрою неможливо, тому його потрібно визначити дослідним шляхом.

Для оцінки ефективності роботи газопроводу під час часткового перекриття його порожнини пристроєм для локалізації місця витоку отримано залежність тиску в кінці ділянки газопроводу від падіння тиску  $\Delta P$  на пристрої

$$P_k = \sqrt{P_x^2 - 2P_x \Delta P - \Delta P^2},$$

де  $P_x$  – тиск в місці часткового перекриття;  $P_2$  – тиск в кінці ділянки газопроводу до часткового перекриття.

За отриманою залежністю проведено розрахунки та встановлено, що з збільшенням відстані від початку газопроводу до місця часткового перекриття порожнини трубопроводу пристроєм для локалізації місця витoku кінцевий тиск збільшується. Так, при збільшенні відстані до місця часткового перекриття з 10 до 110 км кінцевий тиск збільшується на 10-12 %.

У третьому розділі приведені результати експериментальних досліджень динаміки руху моделі пристрою для локалізації місця витoku трубопроводом до місця аварії та впливу часткового перекриття трубопроводу моделлю пристрою на ефективність його роботи.

Для практичної реалізації поставлених задач виготовлено об'єкт досліджень – модель пристрою для локалізації місця витoku та розроблено і побудовано експериментальний стенд (рис. 4), який складається з трьох прозорих скляних труб зовнішнім діаметром 89 мм, товщиною стінки 5 мм і довжиною 3 м, скляного трійника та скляного коліна з поворотом на 90°. Кінці трубопроводу закриваються заглушками. Повітря підводять і відводять через отвори в заглушках. У стінці скляного трійника просвердлено отвір, який імітує аварійний виток з трубопроводу. У відгалуженні скляного трійника встановлено стопорний вузол, призначений для зупинки моделі пристрою для локалізації місця витoku в місці пошкодження трубопроводу. Повітря подається від компресора через ресівер.

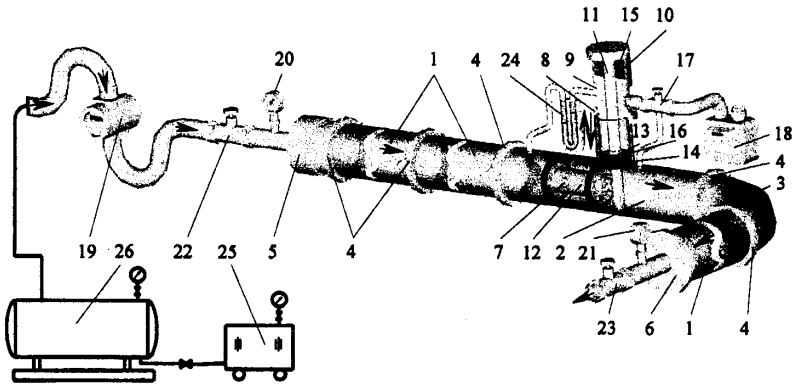


Рис. 4. Експериментальний стенд для дослідження динаміки руху моделі пристрою для локалізації місця витoku та ефективності роботи трубопроводу:

- 1 – скляна труба; 2 – скляний трійник; 3 – скляне коліно; 4 – фланець;
- 5, 6 – заглушка; 7 – отвір; 8 – фланець; 9 – патрубок; 10 – заглушка; 11 – стопор;
- 12 – модель пристрою для локалізації місця витoku; 13 – кільце; 14 – резинова прокладка; 15 – сальник; 16 – отвір; 17 – вентиль; 18, 19 – лічильник;
- 20, 21 – манометр; 22 – голковий вентиль; 23 – вентиль; 24 – диференційний манометр; 25 – компресор; 26 – ресівер.

Витрата повітря вимірювалась лічильником GALLUS 2000-4, тиск – деформаційними зразковими манометрами, перепад тиску на моделі пристрою для локалізації місця витoku – диференційним манометром.

Викладено методику проведення експериментальних досліджень та обробки дослідних даних.

Експериментально досліджено зміну швидкості руху моделі пристрою для локалізації місця витoku по довжині трубопроводу. До місця встановлення стопорного вузла фіксувався час за який модель пристрою проходила відстань між позначками нанесеними на скляну трубу через кожні 0,5 м при сталому початковому тиску.

На основі проведених досліджень побудовано графіки зміни швидкості руху моделі пристрою по довжині трубопроводу (рис. 5) (для сталих значень початкового тиску) та визначено вплив аварійного витoku на швидкість руху моделі пристрою для локалізації місця витoku. Характер експериментальних кривих співпадає з характером кривих побудованих на основі теоретичних досліджень, що підтверджує адекватність теоретичних розрахунків.

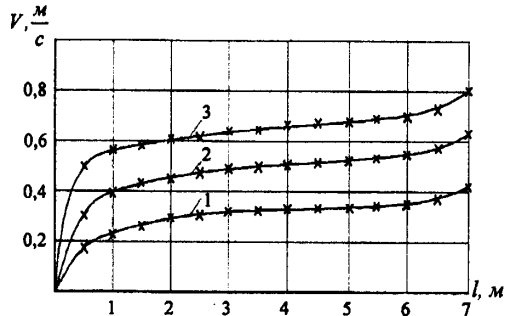


Рис. 5. Зміна швидкості руху моделі пристрою для локалізації місця витoku по довжині трубопроводу:  
1 –  $P_n = 0,8$  ат; 2 –  $P_n = 1,0$  ат; 3 –  $P_n = 1,2$  ат.

Щоб експериментально дослідити одночасний вплив витрати повітря на початку трубопроводу  $Q$  (змінювалась від 0,002 до 0,005  $\frac{м^3}{с}$ ), витрати повітря через аварійний виток  $q$  (змінювалась від 0,0001 до 0,0005  $\frac{м^3}{с}$ ) та геометричного нахилу трубопроводу до горизонту  $i$  (змінювався від 0 до 0,1) на швидкість руху моделі пристрою трубопроводом  $V$  застосовано метод математичного планування експерименту. За результатами обробки даних експериментальних досліджень складено рівняння регресії

$$V = 0,452 + 0,129Q + 0,069q - 0,037i.$$

На основі оцінки значимості коефіцієнтів рівняння регресії встановлено, що основним чинником, який чинить найбільший вплив на швидкість руху моделі пристрою, є витрата повітря на початку трубопроводу. До того ж на практиці основним методом регулювання швидкості руху поршнів є зміна витрати газу на початку газопроводу шляхом зміни швидкості обертання роторів нагнітачів на компресорній станції. Тому експериментально досліджено вплив витрати повітря на початку трубопроводу на швидкість руху моделі

пристрою. Проведено ряд вимірювань швидкості руху  $V$  моделі пристрою трубопроводом (на відстані 6 м від вузла запуску) для різних значень витрати повітря  $Q$  на початку трубопроводу та сталих значень витрати повітря через аварійний виток  $q$  (рис. 6). Нахил трубопроводу до горизонту відсутній і не змінювався. З допомогою кореляційного аналізу отримано аналітичну залежність швидкості руху моделі пристрою, від витрати повітря в трубопроводі, що дало можливість за результатами розрахунків приймати керувальні рішення для регулювання швидкістю руху моделі пристрою.

Експериментально визначено коефіцієнт місцевого гідравлічного опору моделі пристрою для локалізації місця витoku за величиною падіння тиску на перепускному вузлі.

Щоб оцінити ефективність роботи трубопроводу під час часткового перекриття його порожнини моделлю пристрою для локалізації місця витoku проведено ряд вимірювань тиску в кінці трубопроводу  $P_x$  для різних місць часткового перекриття по його довжині при різних коефіцієнтах місцевого гідравлічного опору моделі пристрою  $\xi$  (рис. 7). Характер експериментальних кривих співпадає з характером кривих побудованих на основі теоретичних досліджень, що підтверджує адекватність теоретичних розрахунків.

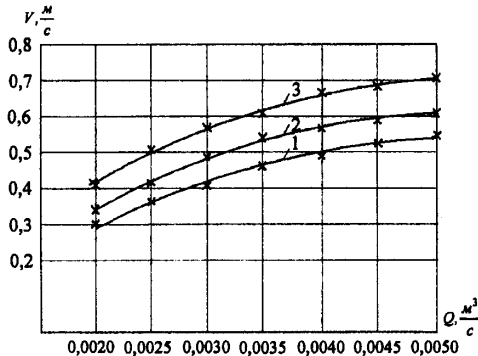


Рис. 6. Залежність швидкості руху моделі пристрою для локалізації місця витoku від витрати повітря в трубопроводі:

$$1 - q = 0,0001 \frac{m^3}{c}; \quad 2 - q = 0,0003 \frac{m^3}{c};$$

$$3 - q = 0,0005 \frac{m^3}{c}.$$

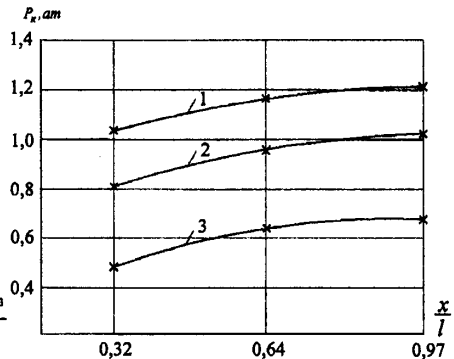


Рис. 7. Залежність тиску в кінці трубопроводу від місця часткового перекриття його порожнини моделлю пристрою для локалізації місця витoku:

$$1 - \xi = 216; \quad 2 - \xi = 262; \quad 3 - \xi = 325.$$

Проведені експериментальні дослідження дозволили зробити висновок про технологічність виконання операцій запропонованого методу локалізації місця витoku та можливість застосування пристрою на діючому газопроводі.

**Четвертий розділ** присвячено розробці та теоретичному дослідженню технології локалізації ділянки газопроводу.

У ряді випадків, коли на лінійній частині газопроводу виявлено велику кількість небезпечних дефектів, стрес-корозійні дефекти глибиною більше 20 %

товщини стінки, економічно доцільно замінити дефектні труби вирізанням. Особливо це стосується спіральшовних і французьких труб, виготовлених за технічними умовами 1974 р., застосовуваних на українських газопроводах та на яких достатньо часто трапляються аварії.

Одним з прогресивних напрямків удосконалення технології заміни дефектної ділянки газопроводу новою трубою є розробка методів перекриття порожнини газопроводу, з метою утримання перекачуваного продукту і локалізації місця проведення ремонтних робіт та забезпечення можливості проведення ремонтних робіт без випорожнення і продувки трубопроводу.

Пристрій для локалізації ділянки газопроводу (рис. 8) складається з двох, розміщених один в одному, перекриваючих пристроїв (зовнішнього та внутрішнього) обладнаних елементами герметизації у вигляді еластичних манжет і кільцевих еластичних оболонок, які сполучені з можливістю взаємодії з балонами під тиском робочого агента. Пристрій запасовується в камеру запуску і в потоці транспортованого продукту переміщується газопроводом та зупиняється на початку дефектної ділянки де зовнішній пристрій герметизує трубопровід. Тоді внутрішній пристрій розфіксується, виштовхується з зовнішнього, переміщується дефектною ділянкою і герметизує її з протилежної сторони.

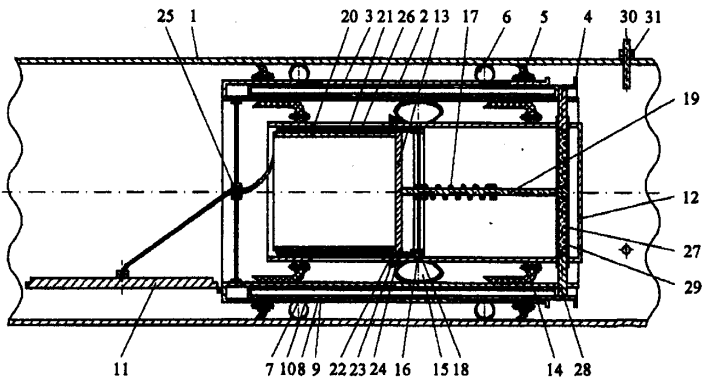


Рис. 8. Пристрій для локалізації ділянки газопроводу:

- 1 – газопровід; 2 – циліндричний корпус; 3 – кільцевий циліндричний балон; 4 – кільцева упора; 5 – еластична манжета; 6 – кільцева еластична оболонка; 7, 8 – отвори;
- 9 – ущільнюючий патрубок; 10 – паз; 11 – заглушка; 12 – циліндричний корпус;
- 13 – перегородка; 14 – еластична манжета; 15 – кільцева еластична оболонка; 16 – отвір;
- 17 – пружина; 18 – повзун; 19 – шток; 20 – пустотілий циліндр; 21 – трос;
- 22 – циліндрична упора; 23 – виступ; 24 – штанга; 25 – фіксатор; 26 – наскрізне вікно;
- 27 – пружина; 28 – циліндричний упор; 29 – трубка; 30 – стопор; 31 – патрубок.

Якщо дефектна ділянка трубопроводу, яку заплановано замінити з допомогою пристрою для локалізації ділянки газопроводу, має наскрізний дефект, то аварійний виток газу за внутрішнім пристроєм може спричинити зупинку внутрішнього пристрою до місця запланованої зупинки. Тому, щоб оцінити зміну швидкості руху внутрішнього пристрою в часі, а отже визначити

відстань, яку пройде внутрішній пристрій від місця аварійного витоку газу до повної зупинки, проведено математичне моделювання руху внутрішнього пристрою дефектною ділянкою газопроводу. В основу математичної моделі покладено диференціальне рівняння руху пристрою газопроводом.

За запропонованим алгоритмом реалізації математичної моделі проведено розрахунки і побудовано залежності відстані, яку пройде внутрішній пристрій після проходження місця аварійного витоку газу до повної зупинки  $l_x$  від швидкості руху внутрішнього пристрою до місця аварійного витоку газу  $U$  для різних коефіцієнтів тертя еластичних манжет до стінки газопроводу  $f_T$  та відношенні витрати газу на початку трубопроводу до витрати газу через аварійний виток рівному 0,4 і діаметрі газопроводу 1420 мм (рис. 9) та визначено вплив значення величини діаметра газопроводу  $d$  на розрахункову відстань  $l_x$  при коефіцієнті тертя еластичних манжет до стінки трубопроводу 0,3 (рис. 10). Встановлено, що з збільшенням діаметра газопроводу розрахункова відстань  $l_x$  збільшується.

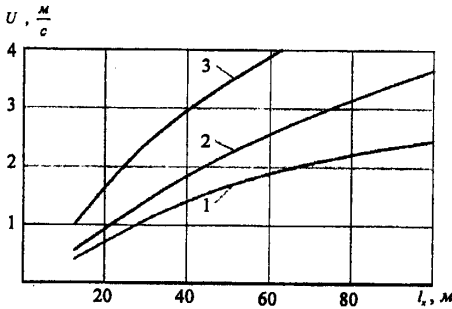


Рис. 9. Залежність відстані, яку пройде внутрішній пристрій після проходження місця аварійного витоку газу до повної зупинки від швидкості руху внутрішнього пристрою:  
1 -  $f_T=0,2$ ; 2 -  $f_T=0,3$ ; 3 -  $f_T=0,4$ .

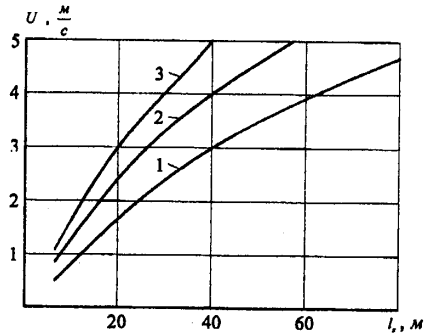


Рис. 10. Залежність відстані, яку пройде внутрішній пристрій після проходження місця аварійного витоку газу до повної зупинки від швидкості руху внутрішнього пристрою:  
1 -  $d_1=800$  мм; 2 -  $d_2=1020$  мм; 3 -  $d_3=1420$  мм.

Якщо відстань від місця аварійного витоку газу до місця запланованої зупинки внутрішнього пристрою є більшою розрахункової відстані  $l_x$ , визначеної за допомогою запропонованого алгоритму реалізації математичної моделі то перед підходом пристрою до аварійної ділянки потрібно збільшувати витрату газу на початку трубопроводу до тих пір, поки розрахункова відстань  $l_x$  не буде рівна відстані від місця аварійного витоку газу до місця запланованої зупинки внутрішнього пристрою.



## ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень закономірностей газодинамічних процесів в газопроводі та динамічних навантажень при русі механічних пристроїв вирішено важливу науково-технічну задачу локалізації дефектних місць і ділянок газопроводу з метою проведення ремонтних робіт.

1. Запропоновано метод локалізації місця витoku газу з газопроводу і розроблено технологію, яка застосовується для ремонту наскрізного дефекту газопроводу без зупинки перекачування газу.

2. Поставлено та розв'язано задачу динаміки руху розробленого пристрою газопроводом з врахуванням впливу аварійного витoku газу. Створена математична модель і на основі її реалізації встановлено закономірності технологічного процесу локалізації місця аварії.

3. Досліджено вплив динамічно прикладених навантажень, які достатньо інтенсивно змінюються в часі і мають ударний характер, на пристрій для локалізації місця витoku та стопорний вузол під час зупинки пристрою в місці аварійного витoku, що дозволило проектувати геометричні розміри корпусу пристрою та стопорного вузла для забезпечення працездатності конструкції і міцності трубопроводу. Встановлено, що при динамічному прикладанні навантажень напруження зростають на 25-27 % в порівнянні з статичним.

4. Досліджено гідравлічні характеристики газопроводу при частковому його перекритті локалізуючим пристроєм, що дозволило оцінити його ефективність роботи під час проведення ремонтних робіт. Експериментальні дослідження підтвердили адекватність отриманих теоретичних залежностей динаміки руху пристрою та впливу часткового перекриття газопроводу на ефективність його роботи.

5. Розроблено метод локалізації ділянки газопроводу значної протяжності застосування якого дає змогу замінити дефектні ділянки без випорожнення і продувки газопроводу, що суттєво зменшить втрати газу під час проведення ремонтних робіт. Проведені теоретичні дослідження динаміки руху запропонованого пристрою дозволили кількісно оцінити зміну швидкості руху пристрою в часі після проходження місця аварійного витoku газу з метою оцінки відстані, яку пройде пристрій до повної зупинки.

Результати проведених досліджень, а також розроблена технологія локалізації наскрізних дефектів газопроводу запропонованим пристроєм впроваджені у Первомайському ЛВУМГ (УМГ Черкаситрансгаз) на газопроводі-відводі від газопроводу Новопсков-Шебелинка, що дозволило отримати економічний ефект в розмірі 315 тис. грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Грудз В.Я., Капцов І.І., Дорошенко Я.В. Локалізація наскрізних дефектів газопроводу без зупинки транспортування газу // Питання розвитку газової промисловості України. – 2005. – № 33. – С. 152–158.

2. Гончар В.П., Дорошенко Я.В., Холодов В.І., Смоляк Т.І. Розрахунок бугельного з'єднання мобільних камер запуску і прийому очисних пристроїв газопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2002. – № 3. – С. 56–59.

3. Дорошенко Я.В. Математичне моделювання руху поршня по магістральному газопроводу з аварійним витоком газу // Коммунальное хозяйство городов. Сер. архитектура и технические науки. – 2005. – № 63. – С. 250–254.

4. Грудз В.Я., Капцов І.І., Дорошенко Я.В. Стендові експериментальні дослідження динаміки руху поршня в трубопроводі // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 4. – С. 95 – 98.

5. Пат. 65280 А Україна, МПК F 16 L 55/10. Пристрій для локалізації місця течі в трубопроводі: Пат. 65280 А Україна, МПК F 16 L 55/10 В.Я. Грудз, І.І. Капцов, Я.В. Дорошенко (Україна); ДК "Укргазвидобування" Український науково-дослідний інститут природних газів (філія). – № 2003076093; Заявл. 01.07.03; Опубл. 15.03.04, Бюл. № 3. – 3 с.

6. Пат. 6370 Україна, МПК F 16 L 55/18. Пристрій для перекриття дефектної ділянки діючого трубопроводу: Пат. 6370 Україна, МПК F 16 L 55/18 В.Я. Грудз, І.І. Капцов, Я.В. Дорошенко (Україна); ДП "Науково-дослідний інститут нафтогазової промисловості" НАК "Нафтогаз України". – № 20040605146; Заявл. 29.06.04; Опубл. 16.05.05, Бюл. № 5. – 3 с.

7. Дорошенко Я.В. Нові технології ремонту магістральних газопроводів // Проблеми нафтогазової промисловості. – 2005. – № 2. – С. 223–228.

## АНОТАЦІЯ

Дорошенко Я.В. Розробка методів локалізації пошкоджень газопроводу для проведення ремонтних робіт. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 – нафтогазопроводи, бази та сховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2006.

Дисертацію присвячено розробці методів локалізації наскрізних дефектів газопроводу з метою забезпечення можливості проведення ремонтних робіт без припинення транспортування газу та локалізації ділянок газопроводу з метою забезпечення можливості заміни протяжних дефектних ділянок, застарілих та дефектних кранових вузлів без випорожнення і продувки трубопроводу.

локалізації місця витoku в потоці транспортованого газу до місця аварійного витoku та вплив часткового перекриття газопроводу пристроєм на ефективність його роботи. Досліджено вплив динамічно прикладених навантажень на конструкцію пристрою для локалізації місця витoku та стопорний вузол під час зупинки пристрою в місці аварійного витoku. Теоретично досліджено процес локалізації ділянки газопроводу пристроєм для локалізації ділянки газопроводу.

Ключові слова: випорожнення, виток, динаміка руху, ділянка газопроводу, локалізація, припинення транспортування газу, продувка, ремонтні роботи.

## АННОТАЦІЯ

Дорошенко Я.В. Разработка методов локализации поврежденных газопровода для проведения ремонтных работ. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – нефтегазопроводы, базы и хранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2006.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, общих выводов, списка использованных источников и приложений.

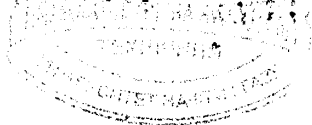
В первом разделе выполнен анализ состояния газотранспортной системы Украины, причин отказов и методов ремонта линейной части газопроводов, на основании которого сформулированы цель и задачи работы.

Второй раздел посвящен разработке и теоретическому исследованию технологии локализации сквозных дефектов газопровода.

Разработана конструкция устройства для локализации места течи в газопроводе, применение которого позволит провести ремонт газопровода без прекращения транспортировки газа, что даст возможность обеспечить бесперебойное снабжение потребителей газом и существенно снизит потери газа во время проведения ремонтных работ. Предложены технологии, которые можно применить для ремонта сквозного дефекта газопровода после локализации течи.

Создан алгоритм реализации математической модели, который учитывает влияние аварийной течи на динамику движения устройства газопроводом, что даст возможность оперативно принимать диспетчерские решения для управления скоростью движения устройства и определять распределение значений эксплуатационных параметров вдоль газопровода во время движения устройства к месту аварии.

С помощью уравнений, полученных в результате реализации математической модели движения устройства газопроводом, проведены теоретические исследования динамики движения устройства для локализации места течи по газопроводу к месту аварии, рассчитано время доставки устройства к месту аварии, определено распределение давления и характер изменения скорости движения устройства по длине газопровода.



Исследовано зависимость объема утраченного газа за время доставки устройства до места течи от диаметра течи, что позволит перед применением разработанного метода провести экономическую оценку.

Проведен анализ процесса торможения устройства для локализации места течи в месте аварийной утечки газа. Исследовано влияние динамически приложенных нагрузок на конструкцию устройства для локализации места течи и стопорный узел, что позволило выбрать такие геометрические размеры корпуса устройства и стопорного узла, которые обеспечат работоспособность конструкции во время столкновения устройства с стопором.

Проведена оценка эффективности работы газопровода во время частичного перекрытия его полости устройством для локализации места течи путем определения зависимости величины давления газа в конце участка газопровода от падения давления на устройстве.

В **третьем разделе** приведены результаты экспериментальных исследований динамики движения устройства для локализации места течи по трубопроводу к месту аварии и влияния частичного перекрытия трубопровода устройством на эффективность его работы.

Для практической реализации поставленных задач изготовлен объект исследований – модель устройства для локализации места течи и разработано и построено экспериментальный стенд.

Экспериментально исследовано изменение скорости движения модели устройства для локализации места течи по длине трубопровода и установлено, что характер экспериментальных кривых совпадает с характером кривых построенных на основе теоретических исследований.

С помощью метода математического планирования эксперимента исследовано влияние расхода воздуха в трубопроводе, расхода воздуха через аварийную течь и геометрического уклона трубопровода к горизонту на скорость движения модели устройства для локализации места течи трубопроводом. Проведены экспериментальные исследования влияния расхода воздуха в трубопроводе на скорость движения модели устройства.

Экспериментально определен коэффициент местного сопротивления модели устройства и проведены экспериментальные исследования влияния частичного перекрытия трубопровода моделью устройства на эффективность его работы.

**Четвертый раздел** посвящен разработке и теоретическому исследованию технологии локализации участка газопровода.

Разработана конструкция устройства для локализации участка газопровода, применение которого позволит локализовать протяжный участок газопровода и обеспечит возможность замены устаревших и дефектных крановых узлов, протяжных дефектных участков газопровода, без опорожнения и продувки газопровода.

Создан алгоритм реализации математической модели движения устройства дефектным участком газопровода с аварийной утечкой газа за устройством, что позволило определить расстояние, которое пройдет устройство от места аварийной утечки газа к полной остановке. Проведены

теоретические исследования зависимости расстояния, которое пройдет устройство после прохождения места аварийной утечки газа к полной остановке от скорости движения устройства к аварийной утечке газа для разных диаметров газопроводов.

Ключевые слова: динамика движения, локализация, опорожнение, прекращение транспортировки газа, продувка, ремонтные работы, сквозной дефект, участок газопровода.

## SUMMARY

Doroshenko Y.V. Development methods of gas pipeline damages localization for leading repair works. – Manuscript.

The dissertation on reception of a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences on a speciality 05.15.13 – Oil and Gas Pipelines, Bases and Storages. The Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2006.

Dissertation is devoted to development of localization method of penetration defects of a gas pipeline, where the main purpose is to provide the possibility to lead repair works without stopping transporting the gas and localization of gas pipeline areas with the purpose to provide the possibility of replacement of the lengthy defects gas pipeline section, obsolete and defective valve without emptying and blowing of gas pipeline. Theoretical and experimental researches are conducted to the motion dynamics device for localization of leak place in the stream of the transported gas to the emergency leak place and also influencing of the partial ceiling of gas pipeline by the device on the capacity of gas pipeline. Influence of the dynamic loadings is set on device's construction for localization of leak place and retainer while the device is stopped in the emergency leak place. Theoretically, the localization process of gas pipeline section is explored by the device for localization section of gas pipeline.

Key words: blowing, dynamics of motion, emptying, localization, penetration defect, pipeline section, repair works, stopping gas transporting.