

Міністерство освіти і науки України

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

БАНАХЕВИЧ РОМАН ЮРІЙОВИЧ



УДК 622.692.4:539.4

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ СКУПЧЕНЬ
У ПОРОЖНИНАХ ЛІНІЙНОЇ ЧАСТИНИ
МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ**

05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

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

Івано-Франківськ – 2015

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

Карпаш Олег Михайлович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, проректор з наукової роботи, лауреат державної премії в галузі науки і техніки України, заслужений діяч науки і техніки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Харченко Євген Валентинович

Національний університет «Львівська політехніка»,
завідувач кафедри опору матеріалів,
м. Львів

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Братах Михайло Іванович

Український науково-дослідний інститут природного газу
(УкрНДІгаз) ПАТ «Укргазвидобування»,
завідувач відділу транспортування газу,
м. Харків

Захист відбудеться «19» листопада 2015 р. о 13⁰⁰ год.

на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 при

Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу
за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розісланий «17» жовтня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Л. Д. Пилипів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні Україна володіє однією з найбільших в Європі газотранспортною системою. Вона включає більше як 40 тис. км трубопроводів, майже 300 насосних і компресорних станцій, 1456 газорозподільних станцій, 13 підземних газосховищ з активною місткістю 32 млрд. м³. Україна, відповідно до Енергетичної стратегії до 2030 року, планує нарощувати обсяги видобування газу. Газова галузь України характеризується сукупністю особливих чинників експлуатації своїх об'єктів: складні умови експлуатування; значна частка (більше 70 %) устаткування відпрацювала нормативний ресурс і через хронічне недофінансування не оновлюється.

Наявність рідини в порожнині газопроводу є одним із факторів, що суттєво знижує ефективність функціонування газотранспортної системи (ГТС). В умовах експлуатації магістральних газопроводів (МГ) дуже важливим завданням є визначення рівня рідини в їх порожнинах, оскільки наявність рідини негативно впливає на роботу всіх вузлів ГТС, ускладнює процес проведення внутрішньотрубної діагностики (ВТД) МГ і суттєво погіршує якість газу.

На горизонтальних і низхідних ділянках траси рідина рухається у вигляді плівки по стінках труби. Наявність рідкої плівки значно збільшує гідравлічний опір газового потоку. Найбільша кількість рідини накопичується на висхідних ділянках газопроводу, утворюючи гідравлічний затор, частково чи повністю перекриваючи переріз труби, підвищення гідравлічного опору і гідростатичного перепаду тиску. Крім цього наявність води в газопроводі значно ускладнює процедуру ВТД трубопроводу, оскільки в такому випадку можливе пошкодження чи руйнування очисного та діагностичного поршнів, які зазнаватимуть гідравлічних ударів. На ділянках повітряних переходів через природні та штучні перепони очисний поршень, рухаючись в МГ, накопичуватиме перед собою значний об'єм рідини та бруду, що може призвести до значного росту внутрішніх напружень у стінці газопроводу та, як наслідок, його руйнування.

Дана робота спрямована на підвищення ефективності експлуатації МГ, запобігання аварійним відмовам обладнання, підвищення надійності експлуатації ГТС в цілому.

Значний вклад у розвиток методів та засобів контролю технічного стану МГ внесли такі вітчизняні та зарубіжні вчені, зокрема: Капцов І.І., Крижанівський Є.І., Карпаш О.М., Петрина Ю.Д., Колей Б.В., Грудз В.Я., Шлапак Л.С., Скальський В.Р., Никифорчин Г.М., Грудз Я.В., Брук В.А., Галімов А.К., Гусейнов Ч.С., Лур'є А.І., Одішарія Г.Є., Керролл Д., V. Goldberg та інші.

Проте без належної уваги дослідників залишився ряд наступних питань, які є досить важливими в системі експлуатації МГ, а саме – контроль зміни фізико-механічних характеристик трубопроводів, можливість оцінки їх технічного стану за кількома параметрами контролю в комплексі, тощо. Тому розроблення нових підходів до технічної діагностики та моніторингу лінійної частини магістральних газопроводів (ЛЧ МГ) довготривалої експлуатації, розвиток їх наукового підґрунтя, а також методів, засобів та технологій їх застосування є актуальною науково-технічною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі технічної діагностики та моніторингу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу відповідно до плану в рамках виконання держбюджетних договорів, в яких автор був виконавцем:

- «Розроблення новітніх неруйнівних методів діагностики і моніторингу деградації матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації» (номер державної реєстрації 0111U002999);
- «Управління ризиками безпечної експлуатації протяжних потенційно небезпечних інженерних споруд за наявності геодинамічних впливів» (номер державної реєстрації 0111U001361).

Метою дисертаційної роботи є вирішення актуального науково-прикладного завдання в напрямку дослідження з удосконалення методів експлуатації МГ шляхом розроблення й упровадження нового методу і засобу технічного діагностування скупчень у порожнинах ЛЧ МГ.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку методів, засобів і технологій виявлення скупчень у МГ;
- розробити методи ідентифікації ймовірних місць виникнення та локалізації значних скупчень у порожнинах і запропонувати методи їх моніторингу;
- розробити і дослідити методи та засоби визначення наявності і рівня скупчення в діючому МГ;
- розробити систему моніторингу наявності рідини в порожнині діючого МГ і провести її промислову апробацію.

Об'єктом досліджень є наявність у магістральному газопроводі рідинних скупчень.

Предметом досліджень є методи і засоби діагностування рідини в магістральних газопроводах.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань і досягнення мети в дисертації використано методи аналітичного моделювання, кореляційного та регресійного аналізу, інтерполяція даних. Експериментальні дослідження щодо розроблення методу діагностування скупчень у порожнинах ЛЧ МГ та узагальнення результатів здійснювались із застосуванням теорії та практики технічних вимірювань і планування експерименту, методи поліноміальної фільтрації результатів вимірювань, математичної статистики і теорії ймовірності, методів числового оброблення результатів експерименту для підвищення їх достовірності.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи визначається такими положеннями:

1. Вперше запропоновано аналітичний метод локалізації та визначення об'єму скупчень рідини в порожнині МГ.
2. Вперше розроблено спосіб технічного діагностування порожнини труби МГ без втручання в його роботу та порушення режиму перекачування газу, що полягає у застосуванні ультразвукового (УЗ)

методу визначення рівня рідини в місця її скупчення в порожнині труби.

3. Удосконалено функціональну схему УЗ методу технічної діагностики ЛЧ МГ, що дало можливість, незалежно від умов навколишнього середовища, одержувати достовірну інформацію про стан газопроводу.
4. Знайшли подальший розвиток методи побудови та використання технічних засобів та діагностичних систем для оцінювання технічного стану МГ, що значно підвищує надійність ГТС.

Практичне значення одержаних результатів. Вирішені в дисертаційній роботі завдання та одержані результати дають можливість підвищити ефективність і надійність системи транспортування газу за рахунок застосування розробленого методу діагностування рідинних скупчень для їх ефективнішого вилучення з порожнин труб МГ для подальшого проведення якісної внутрішньотрубної діагностики.

Положення, що виносяться на захист: метод визначення місця і рівня рідини та бруду в порожнині МГ.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові положення та результати, які становлять суть дисертації, отримані автором самостійно. Дисертантом виконано такі наукові дослідження:

- проведено аналіз та систематизовано причини утворення забруднень в порожнині МГ [1, 5, 11, 14, 15, 25];
- проаналізовано стан методичного, технічного і нормативного забезпечення проведення технічного діагностування МГ [1, 2, 6, 7, 8, 22, 23, 24, 26];
- розроблено аналітичні методи визначення локалізації та об'єму скупчення рідини в порожнині магістрального газопроводу [1, 3, 13, 17, 18, 19, 21];
- розроблено, апробовано й впроваджено в промислових умовах на діючому МГ дослідно-експериментальний взірець, технологію інформаційно-вимірювальної системи моніторингу наявності і об'єму рідин у порожнині магістрального газопроводу [1, 4, 9, 10, 12, 16, 20, 27, 28].

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідалися і обговорювалися на ряді міжнародних наукових конференцій та нарад, зокрема: Трубопроводный транспорт – 2010: IV Международная учебно-научно-практическая конференция, 8–9 ноября 2010 г.: – Уфа (Республика Башкортостан, Российская Федерация); Підвищення надійності та ефективності роботи лінійної частини магістральних газопроводів газотранспортної системи ДК «Укртрансгаз»: 21 – 25 лютого 2011 р., – Яремче; NDT days 2011: 26th International Conference “Defectoscopy’11”, 13–17 June 2011: – Sozopol (Republic of Bulgaria), 2011; Нафтогазова енергетика-2011: Міжнародна науково-технічна конференція, 10–14 жовтня 2011 р.: – Івано-Франківськ; Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: VII международная научно-техническая конференция, 22 – 25 ноября 2011 г.: – Новополюк (Республика Беларусь); Сучасні прилади, матеріали і

технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: Шоста Міжнародна науково-технічна конференція і виставка, 29 листопада – 2 грудня 2011 р.: – Івано-Франківськ; Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів: XVII Міжнародна науково-технічна конференція – ЛЕОТЕСТ-2012, 20 – 25 лютого 2012 р.: – Славське, Львівської області; Підвищення надійності та ефективності роботи лінійної частини магістральних газопроводів газотранспортної системи ДК «Укртрансгаз», 29 лютого – 3 березня 2012 р.: – Яремче; Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу, 15–18 травня 2012 р.: – Івано-Франківськ; Нафтогазова енергетика 2013: Міжнародна науково-технічна конференція, 7–11 жовтня 2013 р.: – Івано-Франківськ; NDT Days 2014: XXIX International Conference “Defectosopia’14”, 09 – 18 June 2014: – Sozopol (Republic of Bulgaria), 2014; Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: 7–ма Міжнародна науково-технічна конференція і виставка, 25–28 листопада 2014 р.: – Івано-Франківськ; Нафтогазова енергетика 2015: Міжнародна науково-технічна конференція, 21–24 квітня 2015 р.: – Івано-Франківськ.

Публікації результатів досліджень. Основні положення дисертаційної роботи викладено у 28 публікаціях, а саме: одна монографія у співавторстві; один патент України; шість публікацій у фахових наукових виданнях Міністерства освіти і науки України; чотири статті в наукових фахових виданнях інших держав і одна публікація в закордонному електронному науковому фаховому виданні; 15 матеріалів міжнародних конференцій (зокрема 5 у зарубіжних).

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 152 сторінки, основний текст викладено на 121 сторінці. Крім того робота проілюстрована 40 рисунками, включає 6 таблиць, список використаних джерел із 118 найменувань та 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичну значущість одержаних результатів, їх апробацію та публікації.

У першому розділі досліджено сучасні досягнення і тенденції досліджень закордонних і вітчизняних вчених, а також стан методичного, технічного та нормативного забезпечення проведення технічного діагностування.

Виконано аналіз причин утворення скупчень у порожнинах МГ. Виконаний аналіз дає можливість стверджувати, що, не дивлячись на велику кількість публікацій та наявних технічних засобів, існуючий стан розвитку методів і засобів контролю визначення фактичного рівня рідини у порожнинах ЛЧ МГ характеризується низкою недоліків. Досліджено вплив скупчень на безпечність і режими експлуатації МГ.

Зокрема встановлено, що накопичення рідких скупчень, і, можливо, твердих відкладів у МГ може бути присутнє у ділянках газоконденсатної пробки. Переважно

це відбувається на ділянках висхідного перепаду висот або в заглибленнях, зображених на рисунку 1. У цих ділянках газ переміщується поверхнею накопиченої води, проте, насправді, потік у воді переважно або дуже повільний, або ж застійний. Навіть у ділянках накопичення рідини з високим рівнем притоку газу достатньо низький, щоб втягнуті тверді відклади випадали з рідкого потоку та осідали на дні МГ.

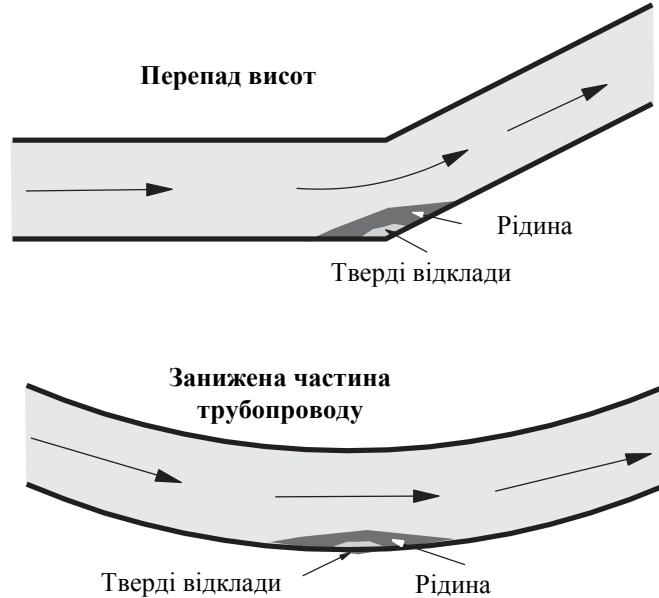


Рисунок 1 – Місця можливого утворення газоконденсатної пробки і твердих відкладів

Крім того, досліджено фактори та причини утворення гідратних утворень в порожнинах труб при магістральному транспорті газу.

Проведені дослідження вказують на такі причини підвищеної вологості газу:

1. неповне видалення води після гідровипробувань і невиконання робіт з осушення на більшості об'єктів капітального будівництва, реконструкції і капітального ремонту МГ;
2. попадання рідини в порожнину МГ під час аварій і будівельно-монтажних роботах;
3. недостатньо якісна підготовка газу на промислах;
4. проведення комплексів робіт із ВТД і пов'язаних із ними змінами режимів і швидкостей потоків газу;
5. наявність рідини, що скупчується в порожнинах газопроводів, не оснащених камерами запуску і прийому очисних пристроїв, і її винесення під час перерозподілення потоків газу та пов'язаних із цим змін режимів роботи МГ;
6. конструктивні особливості споруд із наявністю глухих ділянок, закритих об'ємів, «мертвих» порожнин (порожнина між корпусом і затвором запірної арматури, звужуючі конструкції перемичок між газопроводами та ін.) які ускладнюють видалення води з порожнин МГ.

Вказані причини призводять до підвищення гідравлічного опору і гідростатичного перепаду тиску. Окрім цього, наявність води в газопроводі значно ускладнює процедуру ВТД трубопроводу, оскільки в такому випадку можливе пошкодження чи руйнування очисного та діагностичного поршнів, які зазнаватимуть гідравлічних ударів.

Виходячи з цього, з метою зниження енергетичних затрат на транспорт газу, необхідно здійснювати ефективний експлуатаційний контроль і керування режимами перекачування, вчасне виведення рідини з порожнини МГ, особливо на ділянках, де виникають умови для прояву ефектів багатофазності середовища і експлуатаційних ускладнень.

Аналіз стану проблеми визначення місць скупчення рідини та її рівня в порожнині МГ показав, що на даний час не існує приладів чи систем, які б давали можливість вирішити дану проблему відповідно до встановлених вимог. Наявність місць скупчення рідини в порожнині трубопроводу на певній ділянці виявляється за зростанням різниці вхідного та вихідного тисків. Місцезнаходження таких скупчень рідини визначається за допомогою карти прокладання газопроводу на ділянках пониження профілю траси газопроводу. У місцях з найбільшим ризиком скупчення рідини врізається запірна арматура в нижній точці труби газопроводу для її дренажу.

На підставі проведеного аналізу були сформовані основні завдання дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений розробленню методів виявлення та локалізації гідратних утворень, фізичної та математичної моделі ділянки МГ, де утворилися скупчення, і виявленню та оцінюванню розмірів гідратних утворень з визначенням інформативних параметрів наявності утворень, які можна виміряти доступними технічними засобами.

Особлива небезпека в процесі експлуатації МГ виникає тоді, коли частина рідини, яка конденсується в порожнині трубопроводу, покриває шар твердих відкладень і спричиняє корозійне ураження стінки газопроводу. За умов низької турбулентності газового потоку тверді відклади можуть збираються на дні горизонтальної чи злегка похилої лінії МГ.

Проте здатність рідини мігрувати порожниною МГ не дає можливості точно визначити місце скупчення рідини та її рівень. Враховуючи складність рельєфу прокладання газопроводів, особливо в гірських регіонах, необхідність проведення значного обсягу земельних робіт і транспортування ємностей для збору рідини з МГ, такі помилки у визначенні місць знаходження рідини в газопроводі призводять до значних матеріальних затрат, зменшують продуктивність ГТС загалом, збільшують ризик її безпечного експлуатування.

За результатами експериментальних досліджень розроблено аналітичні методи визначення локалізації та об'єму скупчення рідини в порожнині магістрального газопроводу.

У випадку, коли за результатами вимірювання на контрольно-вимірювальній ділянці буде виявлено наявність двох рідких фаз із різною густиною із рівнями відповідно h_1 та h_2 (рисунок 2), методика оцінки кількості такого рідкого середовища наступна.

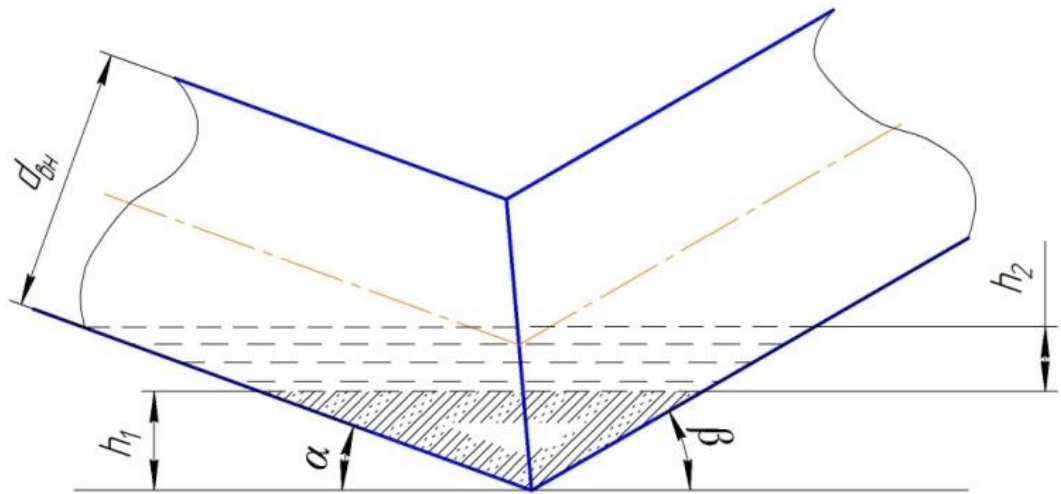


Рисунок 2 – Розрахункова схема висхідної ділянки МГ для розроблення методики визначення об'єму рідини в його порожнині

Спочатку визначаються числові коефіцієнти за залежностями:

$$A_1 = -\left(\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) + \operatorname{ctg}(\alpha)\right);$$

$$A_2 = -\left(\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) + \operatorname{ctg}(\beta)\right);$$

$$B_1^{h1} = \frac{d}{2} \cdot A_1 + \frac{h_1}{\sin(\alpha)};$$

$$B_2^{h1} = \frac{d}{2} \cdot A_2 + \frac{h_1}{\sin(\beta)};$$

$$B_1^{h2} = \frac{d}{2} \cdot A_1 + \frac{h_1 + h_2}{\sin(\alpha)};$$

$$B_2^{h2} = \frac{d}{2} \cdot A_2 + \frac{h_1 + h_2}{\sin(\beta)};$$

$$C_1 = \arccos\left(\frac{2 \cdot B_1^{h1}}{A_1 \cdot d}\right);$$

$$C_2 = \arccos\left(\frac{2 \cdot B_1^{h2}}{A_1 \cdot d}\right),$$

(1)

де A_1 , B_1 , C_1 та A_2 , B_2 , C_2 – коефіцієнти, що характеризують просторове положення магістрального газопроводу відносно горизонту та висоту рівня рідини в порожнині труби.

Визначається об'єм рідини:

$$V_{h1} = \frac{1}{3} \left[\frac{d^2}{4} \cdot \{3 \cdot C_1 \cdot (B_1^{h1} + B_2^{h1}) - d \cdot \sin(C_1) \cdot (A_1 + A_2)\} - \operatorname{tg}(C_1) \cdot \left(\frac{(B_1^{h1})^3}{A_1^2} + \frac{(B_2^{h1})^3}{A_2^2} \right) \right]; \quad (2)$$

$$V_{h2} = \frac{1}{3} \left[\frac{d^2}{4} \cdot \{3 \cdot [C_2 \cdot (B_1^{h2} + B_2^{h2}) - C_1 \cdot (B_1^{h1} + B_2^{h1})] - d \cdot (A_1 + A_2) \cdot [\sin(C_2) - \sin(C_1)]\} - \right. \\ \left. - \operatorname{tg}(C_2) \cdot \left(\frac{(B_1^{h2})^3}{A_1^2} + \frac{(B_2^{h2})^3}{A_2^2} \right) + \operatorname{tg}(C_1) \cdot \left(\frac{(B_1^{h1})^3}{A_1^2} + \frac{(B_2^{h1})^3}{A_2^2} \right) \right]; \quad (3)$$

де: h_1 та h_2 – рівні рідких скупчень у порожнині МГ;
 d – внутрішній діаметр труби.

Найефективнішим напрямком у вирішенні завдань експлуатаційної надійності і ефективності роботи МГ є використання систем моніторингу стану газопроводу, в тому числі визначення наявності і рівня рідини в його порожнині.

Враховуючи умови експлуатації ГТС та вимоги техніки безпеки, система вимірювання рівня рідини в порожнині газопроводу повинна відповідати наступним вимогам:

- забезпечувати можливість вимірювання рівня рідини без втручання в роботу МГ та порушення режимів перекачування;
- будь-які дії під час встановлення системи, її налагодження та роботи не повинні призводити до порушення суцільності стінки МГ чи виникнення будь-якого роду дефектів;
- висока точність вимірювання, сезонність системи, простота в експлуатації;
- невисока вартість встановлення, налагодження та експлуатації.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням з метою встановлення оптимальних інформативних параметрів виявлення гідратних утворень у порожнинах газопроводів, розробленню методики експериментальних досліджень і технічних засобів для їх проведення. Проведено експериментальні дослідження та аналіз їх результатів. Розроблено дослідно-експериментальний взірець приладу для контролю наявності скупчень у порожнинах ЛЧ МГ. Визначення рівня рідини проводиться в польових умовах без втручання в роботу газопроводу.

Система складається з контрольних постів, що встановлюються в місцях, де існує загроза накопичення рідини в газопроводі, і портативного пристрою контролю. Визначення рівня рідини базується на розробленому акустичному луно-імпульсному методі.

Процес контролю полягає у почерговому вимірюванні рівня рідини в газопроводі шляхом під'єднання пристрою контролю до кожного контрольного поста. У місцях виходу газопроводу на поверхню і за наявності вільного доступу до

його нижньої частини визначення рівня рідини проводиться за допомогою портативного пристрою контролю з переносним спеціалізованим УЗ перетворювачем.

Контрольні пости пропонується виготовити на базі колонки ПВЕК.305431.005 виробництва ТзОВ «Технотек» (м. Рівне). Дана колонка виготовляється з міцного пластику, стійкого до дії зовнішнього середовища, і обладнана «антивандальним» пристроєм для попередження несанкціонованого вилучення контрольного поста з ґрунту. Колонка контрольного поста може бути одночасно використана як інформаційно-попереджувальний знак (для позначення охоронної зони і траси МГ), і як контрольно-вимірювальний пункт електрохімзахисту (ЕХЗ). В основу покладено завдання створити такий пристрій, в якому нове конструктивне виконання первинних перетворювачів і спосіб аналізу інформації дали б змогу з високою точністю вимірювати рівень рідини в порожнинах газопроводів без порушення суцільності стінки МГ та його розкопування.

Акустичний блок пристрою складається з корпусу, попередньо заповненого речовиною (наприклад, солідол) для забезпечення акустичного контакту УЗ п'єзоелектричного перетворювача з трубою МГ. У корпусі акустичного блока пристрою розміщено ущільнюючу манжету, яка попереджує проникнення агресивних речовин, що містяться в ґрунті, до внутрішніх елементів акустичного блока. Така конструкція акустичного блока дає можливість забезпечити надійний та довготривалий акустичний контакт УЗ п'єзоелектричного перетворювача з трубою газопроводу, що знаходиться в ґрунті. П'єзоелектричний перетворювач виконується підпружиненим для забезпечення надійного контакту між ним та зовнішньою поверхнею стінки труби МГ.

Додатково, для забезпечення надійного акустичного контакту та зменшення втрат акустичних коливань на межі розподілу «п'єзоелемент-сталь», УЗ п'єзоелектричний перетворювач оснащено вгнутою акустичною призмою, виготовленою з мідної пластини, яка розміщується між п'єзоелементом і зовнішньою поверхнею газопроводу, при цьому радіус кривизни вгнутої поверхні призми рівний зовнішньому радіусу труби газопроводу. З метою зменшення впливу явища реверберації акустичних коливань у стінці труби, додаткового підвищення точності вимірювання та забезпечення можливості вимірювання рівня рідини в порожнині газопроводу меншого за 10,6 см, запропоновано вимірювання часу проходження акустичних коливань у рідині здійснювати за максимумами побудованої огинаючої кривої динаміки відбивання ультразвукових хвиль, а також використано п'єзоелектричний УЗ перетворювач із резонансною частотою 2,5 МГц.

Для вимірювання рівня рідини у порожнині МГ без його розкопування з'єднувальні провідники від акустичного блоку, встановленого на МГ, виводяться на зовні через колонку ЕХЗ, яка додатково оснащується штекером для під'єднання до вимірювального блока.

Вимірювальний блок пристрою здійснює визначення рівня рідини шляхом побудови огинаючої кривої динаміки відбивання УЗ хвиль від поверхні розподілу середовищ, а визначення часу проходження акустичних хвиль T у вимірювальному середовищі здійснюється за максимумами огинаючої.

Пристрій для вимірювання рівня рідини в порожнині МГ (рисунок 3) складається з акустичного блока 1, який кріпиться до нижньої частини газопроводу 2 та вимірювального блока 3. Кабель акустичного блока 4, за допомогою якого реалізується з'єднання акустичного блока 1 з наземною частиною, виводиться у колонку ЕХЗ 5, та з'єднується з вимірювальним блоком 3 за допомогою кабеля вимірювального блоку 6 через з'єднувач 7, який вмонтовується у стінку колонки ЕХЗ 5.

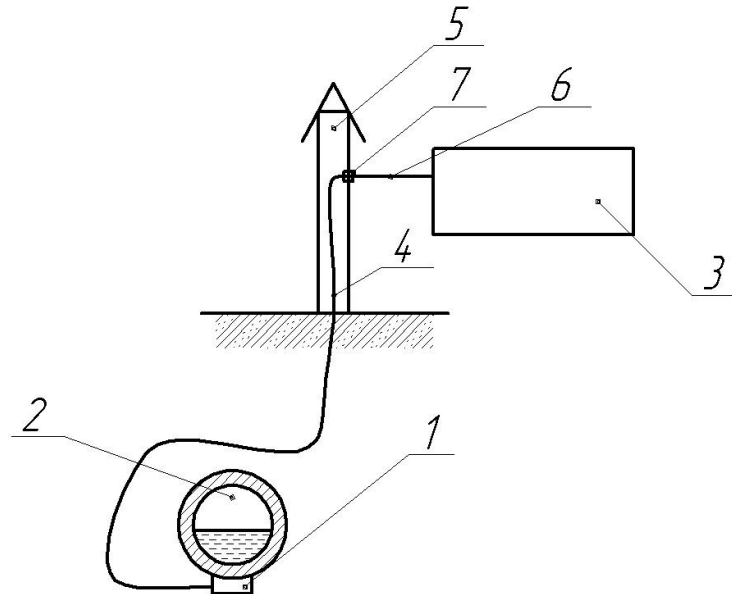


Рисунок 3 – Схема пристрою для визначення рівня рідини у порожнині МГ

Схематичну будову акустичного блока зображено на рисунку 4.

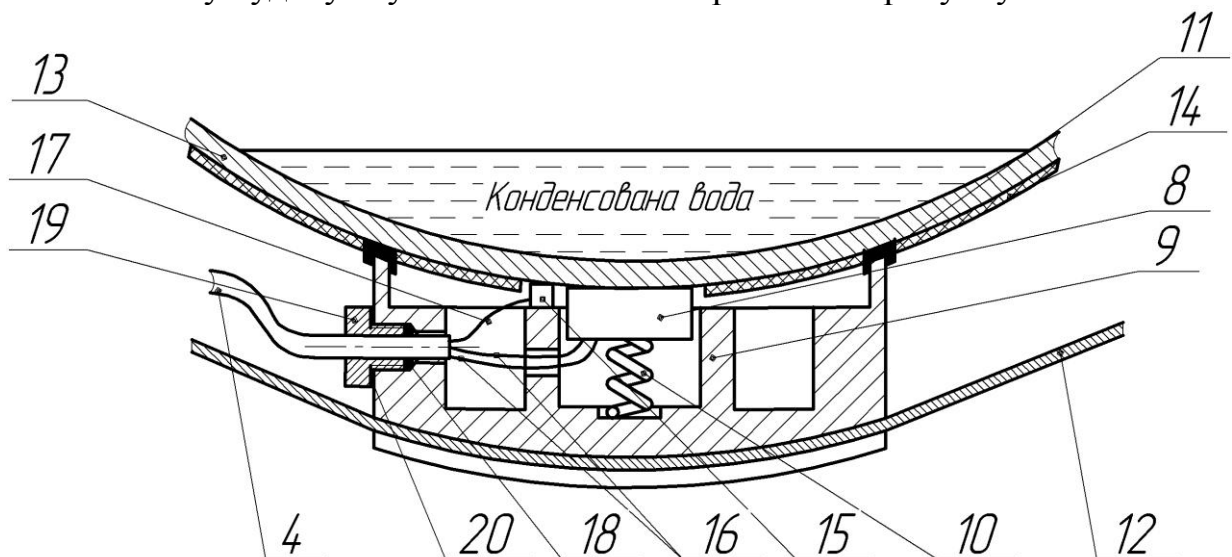


Рисунок 4 – Схематична будова акустичного блока

Ультразвуковий п'єзоелектричний перетворювач 8 розташований концентрично у циліндричній виточці корпусу 9 і підпружинений 10. Корпус акустичного блока оснащений ущільнюючою гумовою манжетою 11. За допомогою

хомута 12 реалізується надійне кріплення корпусу 9 на стінці 13 труби газопроводу 2 (рисунок 3) захищеного ізоляцією 14. Давач температури 15, наприклад, термопара, розташовується у корпусі 9 біля УЗ п'єзоелектричного перетворювача 8 та контактує із зовнішньою поверхнею стінки 13 труби газопроводу. Два з'єднувальні провідники 16 ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача 8 та провідники 17 давача температури 15 сходяться у кабель акустичного блока 4. Герметизація отвору в корпусі 9 для виходу кабелю акустичного блока 4 здійснюється за допомогою гумової шайби 18 та штуцера 19. Гумова прокладка 20, яка розташована між штуцером 18 і корпусом 9, забезпечує надійну герметизацію акустичного блока.

Схематична будова УЗ п'єзоелектричного перетворювача зображена на рисунку 5.

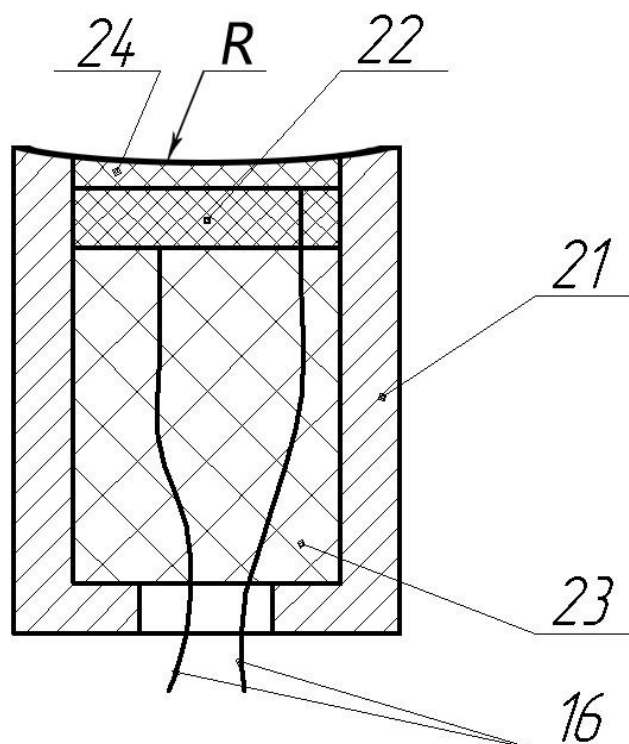


Рисунок 5 – Схематична будова УЗ п'єзоелектричного перетворювача

Ультразвуковий п'єзоелектричний перетворювач 8 складається з металевого корпусу перетворювача 21, п'єзокерамічної пластинки 22, виготовленої з титанату барію ТБК-3 діаметром 20 мм, резонансна частота якої становить 2,5 МГц, демпфера 23 та вгнутої акустичної призми 24, виготовленої з мідної пластини діаметром 20 мм, при цьому радіус кривизни R вгнутої поверхні, що контактує з зовнішньою поверхнею МГ, рівний зовнішньому радіусу труби цього ж МГ.

Пристрій працює наступним чином. Акустичний блок 1 (рисунок 3) за допомогою хомута 12 (рисунок 4) притискається до зовнішньої поверхні труби МГ 2 в його нижній частині у місці найбільш імовірного збирання води. Ізоляція 14 стінки газопроводу 13 нижньої частини труби газопроводу 2 у місці контакту УЗ п'єзоелектричного перетворювача 8 і давача температури 15 перед встановленням акустичного блока очищується. Сила притискання акустичного

блока до труби МГ вибирається такою, щоб за рахунок деформації манжети 11 забезпечити надійну герметизацію порожнини корпусу 9 акустичного блока 1, попередньо заповненої речовиною для забезпечення акустичного контакту. Пружина 10 забезпечує надійний контакт УЗ п'єзоелектричного перетворювача 8 із зовнішньою поверхнею стінки 13 труби МГ 2. Отвір, через який проходить кабель 4, що об'єднує два провідники 16 ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача 8 та провідники 17 давача температури 15 акустичного блока 1, герметизується загвинчуванням штуцера 19 в отворі корпусу 9 з різьбою, який деформує гумову шайбу 18 та гумову прокладку 20, притискаючи їх таким чином до кабелю акустичного блока 4 та корпусу 9. Кабель акустичного блока 4 другим кінцем вмонтовується у колонку ЕХЗ. Вимірювальний блок 3 за допомогою кабелю вимірювального блока 6 сполучається з кабелем акустичного блока 4 за допомогою з'єднувача 7.

Працює пристрій для вимірювання рівня рідини в порожнині газопроводу наступним чином. П'єзоелектричний перетворювач 8 (рисунок 4) акустичного блока 1 (рисунок 3), на який подано короткочасний імпульс високої напруги від вимірювального блока 3, генерує ультразвукові акустичні хвилі, які поширюються в стінці МГ 2, в якому знаходяться рідина та газ. На межі розподілу «рідина – газ», акустичні ультразвукові хвилі, які пройшли через стінку газопроводу і рідину, зазнаватимуть часткового відбивання та заломлення. Відбиті від межі розподілу «рідина – газ» акустичні ультразвукові хвилі, пройшовши зворотній шлях, на межі розподілу «рідина – стінка труби газопроводу» також зазнаватимуть часткового відбивання та заломлення. Заломлені ультразвукові хвилі, які пройшли через стінку газопроводу, потрапляють на п'єзоперетворювач. Відбиті від межі розподілу «рідина – стінка труби газопроводу» ультразвукові хвилі, пройшовши через рідину, яка знаходиться в газопроводі, знову зазнають відбивання від межі розподілу «рідина – газ» і поширюються у зворотному напрямку до стінки газопроводу, де на межі розподілу «рідина – стінка труби газопроводу» відбувається їх повторне відбивання та заломлення. Заломлені ультразвукові хвилі, пройшовши через стінку труби газопроводу, потрапляють на п'єзоперетворювач, який здійснює перетворення ультразвукових хвиль, які потрапили на нього, в електричні імпульси. Останні через провідники 4 передаються у вимірювальний блок 3, де відбувається їх підсилення та візуалізація на графічному дисплеї динаміки проходження та відбивання ультразвукових хвиль від поверхонь розподілу середовищ «рідина – газ», а також побудова огинаючої кривої динаміки відбивання та проходження ультразвукових хвиль.

На рисунку 6 зображено етапи побудови огинаючої кривої динаміки відбивання УЗ хвиль від поверхні розподілу середовищ.

Побудова огинаючої кривої динаміки відбивання УЗ хвиль від поверхонь розділу середовищ у вимірювальному блоці відбувається у три етапи.

Перший етап (рисунок 6, а) полягає у побудові кривої динаміки відбивання ультразвукових хвиль від поверхонь розділу середовищ. На цій кривій будуть присутні імпульси багаторазових відбивань в стінці труби газопроводу 13, які мають як додатне так і від'ємне значення, через що значно ускладнюється фіксування часу T .

На другому етапі (рисунок 6, б) нижня (від'ємна) частина півхвиль багаторазових відбивань у стінці МГ (на рисунку 6, б зображені тонкою лінією) будується симетрично відносно осі ОХ.

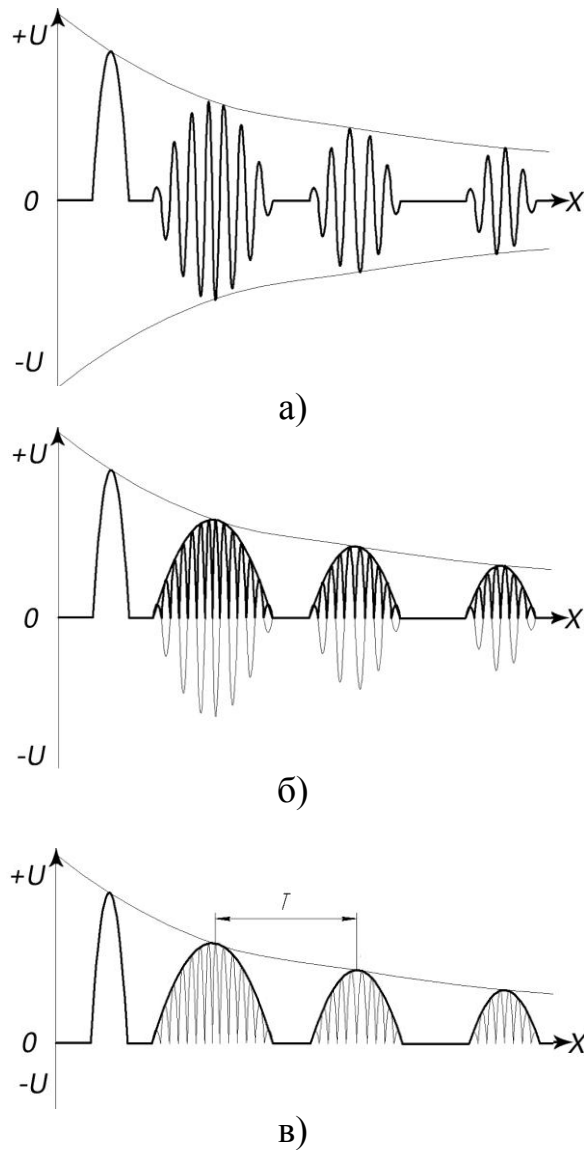


Рисунок 6 – Етапи побудови огинаючої кривої динаміки відбивання УЗ хвиль

Огинаюча кривої динаміки відбивання ультразвукових хвиль від поверхонь розподілу середовищ будується на третьому етапі (рисунок 6, в) за максимумами півхвиль динаміки відбивання ультразвукових хвиль від поверхонь розподілу середовищ.

У той же час вимірювальний блок проводить вимірювання значення температури рідини в МГ за допомогою датчика температури, розміщеного в акустичному блоці.

Рівень рідини, яка знаходиться в МГ, буде рівний половині добутку коефіцієнта залежності швидкості поширення УЗ хвиль у рідині від її температури,

температури рідини, швидкості поширення ультразвукових хвиль у рідині за нормальних умов і часу T , який рівний часу проходження ультразвукових хвиль від п'єзоелектричного перетворювача до межі розподілу «рідина-газ» та у зворотному напрямку, і вимірюється вимірювальним блоком після побудови огинаючої кривої динаміки відбивання ультразвукових хвиль від поверхонь розподілу середовищ (рисунок 6, в).

Коефіцієнт залежності швидкості поширення УЗ хвиль у рідині від її температури та значення швидкості поширення УЗ хвиль у рідині за нормальних умов вибираються з довідникових даних.

Для реалізації першого етапу досліджень було зібрано експериментальне обладнання для моделювання системи вимірювання рівня рідини в порожнині газопроводу.

Як ділянку МГ було використано секцію труби діаметром 426 мм і шириною 180 мм, заглушену з обох боків зі встановленими патрубками для закачування і викачування рідини. Внизу секції встановлений акустичний блок з кабелем зв'язку, який виведений на поверхню ґрунту в спеціальну контрольну-вимірювальну колонку.

У листопаді 2010 року трубна секція була закопана на глибину 120 см. Далі, з інтервалом 3 місяці до вересня 2013 виконувалися послідовні контрольні вимірювання різних рівнів рідини (від 5 до 60% діаметра труби) в секції – у жодному з випадків не було помічено втрати сигналу від п'єзоелектричного УЗ перетворювача. Це підтверджує можливість забезпечення надійного тривалого акустичного контакту в таких системах моніторингу рівня рідини в МГ підземного укладання.

Другий етап досліджень був присвячений проблемі визначення рівня скупчень у порожнині МГ, що складаються з рідин різної щільності – практикою доведено, що, здебільшого, відбувається розшарування на водну емульсію твердих частинок і легшу фракцію, схожу на газовий конденсат.

Для реалізації експериментальних досліджень на цьому етапі було сконструйовано експериментальне устаткування, яке складається з секції трубопроводу діаметром 219 мм і довжиною 500 мм, встановленої на металевій основі, УЗ суміщеного перетворювача власної конструкції з частотою 2,5 МГц (у складі акустичного блока), встановленого в нижній частині труби, серійного УЗ дефектоскопа DiO562, призначеного для збудження і прийому УЗ коливань, попереднього підсилювача УЗ імпульсів власної конструкції, цифрового осцилографа Rigol DS1000E для реєстрації УЗ відгуків, цифрового термометра Fluke 54II, лінійки для вимірювання дійсного значення рівнів і з'єднувальних кабелів. Секція МГ заглушена з одного боку металевою заглушкою, з іншого – заглушкою, виготовленою з органічного скла для забезпечення візуалізації та вимірювання рівнів рідини.

Дослідження виконані в такій послідовності:

1. Зібрано устаткування на горизонтальній поверхні. За допомогою рівнеміра відкориговане його положення з метою забезпечення паралельності нижньої твірної ємності (труби) до горизонтальної площини.

2. Наповнено посудину на $2/3$ об'єму рідиною. Під час проведення налаштування швидкість поширення УЗ коливань у технічній воді встановлена на рівні 1400 м/с.
3. Встановлено акустичний блок внизу труби. Виконано налаштування положення перетворювача шляхом його повороту на кут до 5° щодо горизонталі і вертикалі. Налаштування положення перетворювача проводилося до одержання максимальної амплітуди відгуку акустичних коливань від донної (внутрішньої) поверхні ємності. При цьому, налаштоване підсилення дефектоскопа до моменту досягнення амплітуди відгуку акустичних коливань від донної поверхні ємності рівня 85% вертикальної розгортки екрана дефектоскопа з подальшою фіксацією положення акустичного блока.
4. Збільшено горизонтальну (часову) розгортку дефектоскопа до моменту появи амплітуди відгуку від поверхні рідини в ємності. Імпульс відгуку коригуванням розгортки дефектоскопа встановлений на позначці $1/3$ горизонтальної розгортки від її початку. Після завершення налаштування рідину було видалено з ємності.
5. У процесі послідовного заповнення ємності технічною водою рівними порціями (по 500 мл) від нульового рівня до $2/3$ від максимального, проводилось зчитування значень часового інтервалу між зондуючим імпульсом і першим відбитим від поверхні рідини, а також інтервал часу і відношення амплітуд між першим відбитим та іншим відбитим луно-імпульсом від поверхні рідини.
6. Паралельно крізь прозоре скло інструментальною лінійкою замірювалось дійсне значення рівня рідини. Було проведено вимірювання окремо рівня технічної води, відпрацьованого моторного масла (як модельних середовищ) та їх загального рівня після відстою двофазної рідинної композиції.

Описані вимірювання були проведені у 3 рази за різних температур навколишнього середовища ($+10^\circ\text{C}$, $+15^\circ\text{C}$, $+20^\circ\text{C}$). Зчитування значень часового інтервалу між зондуючим і першим відбитим від поверхні рідини імпульсом виконувалося за допомогою УЗ дефектоскопа. Під час вимірювань, використовуючи цифровий осцилограф, проводився запис форми відгуків ультразвукових сигналів від межі розподілу «вода-моторне масло» і «моторне масло-повітря» з метою подальшого опрацювання.

Після опрацювання результатів виведена до діапазону похибка вимірювання рівня технічної води складала 2,92% (3,07 мм), а в разі вимірювання рівня відпрацьованого моторного масла – 5,64% (4,84 мм). Така різниця в точності визначення рівня і нижніх меж діапазонів вимірювання пояснюється значно меншою (до 30%) швидкістю поширення акустичних коливань у мастилі (легкої фракції скупчень) порівняно з технічною водою. Значення відносної похибки під час спільного вимірювання рівня технічної води і моторного мастила складає 6,2% (5,36 мм) після фільтрації луно-сигналів методом Савицького-Голея, котрий доцільно застосовувати для оброблення луна-сигналів, відбитих від межі розподілу

середовищ, під час визначення наявності і вимірювання рівня скупчення рідини в порожнині діючого МГ.

У четвертому розділі розроблено технологію проведення промислової апробації методу вимірювання рівня рідини в порожнині діючого МГ і методики визначення її об'єму.

Для проведення промислової апробації було обрано відкриті ділянки діючого МГ «Пасічна-Тисмениця» діаметром 325 мм і 530 мм Богородчанського ЛВУМГ. Дані ділянки характерні висхідним перепадом висоти і потенційно небезпечні щодо накопичення рідини в порожнині газопроводу (за даними технологічних оглядів). Для відведення рідини на даних ділянках врізані дренажні патрубки із запірною арматурою.

Вимірювання рівня рідини на обраних дослідних ділянках діючого МГ проводиться наступним чином. Для встановлення УЗ перетворювача обирається найнижча точка дослідної ділянки діючого МГ. У даній точці знімається ізоляційне покриття на площі 5×5 см, одержане поле контролю в нижній точці труби газопроводу очищається від бруду, іржі, окалини. За допомогою напилка і наждачного паперу видаляють нерівності і гострі виступи на полі контролю, поверхню зачищають до значення шорсткості не менше $Rz = 80$ мкм. Для забезпечення надійного акустичного контакту між УЗ перетворювачем і підготовленою поверхнею труби МГ її ретельно протирають ганчіркою і наносять шар контактної речовини «Литол 24».

Для вимірювання рідини в порожнині МГ без втручання в процес транспортування газу як обладнання використовується прямий суміщений УЗ п'єзоелектричний перетворювач з робочою частотою 2,5 МГц і портативний УЗ дефектоскоп DiO 562LC.

Для ідентифікації рівня рідини за допомогою приладу визначається час відбиття відклику від внутрішньої поверхні стінки труби та поверхні рідини (скупчень) – рівень рідини визначається за часом між третім та другим луно-сигналами на екрані дефектоскопа.

Додатковою діагностичною ознакою наявності скупчень у порожнині діючого газопроводу є також динамічна (змінна) так звана «гребінка» відклику від поверхні рідини, що пояснюється впливом незначних пульсацій тиску за зміни рівня пролягання МГ, яке є характерним для відкритих ділянок (балкові та річкові переходи), на яких здійснювалась промислова апробація.

У процесі вимірювання було одержано чіткий відбитий луно-сигнал від поверхні накопиченої рідини в порожнині МГ (за наявності твердих відкладів на донній поверхні стінки труби МГ) і визначено, що рівень рідини в порожнині газопроводу для ділянки з діаметром 325 становить 10 мм, для ділянки МГ з діаметром 530 мм – 205 мм, тобто рідина майже на половину перекрила переріз МГ, що підтвердилось утворенням специфічних акустичних сигналів на ділянці скупчення рідини під час проходження газу.

Другою складовою промислової апробації є визначення об'єму рідини в порожнині досліджуваної ділянки діючого газопроводу на основі вимірних значень рівня рідини, технологічні параметри досліджуваної ділянки і одержаної у 2-му розділі роботи залежності для визначення об'єму (формули (2) та (3)).

Для ділянки МГ з діаметром 325 мм визначений рівень рідини становив 10 мм, а розрахований об'єм рідини – 0,053 л. Стравлювання газу з дренажних патрубків показало фактичну відсутність рідини в порожнині МГ на контрольованій ділянці, що фактично підтверджено розрахунком об'єму рідини.

Для ділянки МГ з діаметром 530 мм визначений рівень рідини становив 205 мм, а розрахований об'єм рідини – 87,4 л. Було проведено випуск накопиченої на контрольованій ділянці рідини через дренажні патрубки у технологічну ємність. Фактичний об'єм рідини становив 96 л.

Крім того апробацію проведено на діючих МГ в УМГ «ЧЕРКАСИТРАНСГАЗ» та УМГ «ПРИКАРПАТТРАНСГАЗ».

Проведення усіх цих робіт підтверджено актами промислової апробації.

Економічний ефект від впровадження результатів дисертаційної роботи у виробничий процес на ділянці МГ "Острогозьк – Шебелинка" П н. Куп'янського ЛВУ МГ філії УМГ "ХАРКІВТРАНСГАЗ" склав за 2014 рік 212,3 тис. грн.

ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішено актуальне науково-прикладне завдання з удосконалення методів експлуатації магістральних газопроводів шляхом розроблення й промислової апробації нового методу і засобу діагностування скупчень у порожнинах ЛЧ МГ, а саме:

1. Проведено аналіз робіт сучасних вітчизняних і закордонних учених, а також стан методичного, технічного і нормативного забезпечення технічного діагностування, який показав, що проблема діагностування місця й об'єму скупчень у лінійній частині магістральних трубопроводів не має ефективного та однозначного вирішення, що значною мірою знижує продуктивність і енергозатрати на транспортування газу, а, в окремих випадках, значно ускладнює процес їх ВТД.
2. У результаті теоретичних досліджень розроблено аналітичні методи визначення локалізації та об'єму скупчення рідини в порожнині МГ, що дає можливість за мінімальною кількістю вхідних параметрів із достовірністю 0,83 визначати наявність і розміри таких скупчень.
3. Запропоновано для оцінки об'єму скупчень використовувати акустичний метод, що полягає у встановленні експериментальних залежностей амплітуди ультразвукових коливань від типу і товщини включення і температури навколишнього середовища, що дає можливість з високою точністю (більше 0,9), незалежно від параметрів навколишнього середовища, визначати наявність і об'єм включень.
4. Розроблено, виготовлено й апробовано в промислових умовах на діючому МГ дослідно-експериментальний взірець і технологію інформаційно-вимірювальної системи моніторингу наявності й об'єму рідин у порожнині МГ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Природний газ: інноваційні рішення для сталого розвитку: монографія / Загальна редакція: проф. О.М. Карпаш. Редакційна колегія: Райтер П.М., Карпаш М.О., Яворський А.В., Тацакович Н.Л., Рибіцький І.В., Дарвай І.Я., Банахевич Р.Ю., Височанський І.І. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. –398 с., іл. – ISBN 978-966-694-215-2.
2. Банахевич Р. Ю. Методики визначення місць скупчень і об'єму рідини в порожнині діючого газопроводу / Р.Ю. Банахевич, А.В. Яворський, М.О. Карпаш, Я.В. Рожко, С.В. Великий // Нафтогазова енергетика. – 2014. – № 1. – С. 55 – 63. – ISSN 1993-9868. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Nge_2014_1_8.pdf.
3. Банахевич Р.Ю. Фактори та причини виникнення гідратних утворень в порожнинах труб при магістральному транспорті газу / Р.Ю. Банахевич, В.О. Крупка, В.П. Лук'яненко // Теорія і практика будівництва. – 2011. – №8. – С. 3 – 6. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Tipb_2011_8_2.pdf.
4. Карпаш О.М. Экспериментальные исследования метода определения уровня жидкостных скоплений в полости магистральных газопроводов [Электронный ресурс]/ О.М. Карпаш, Р.Ю. Банахевич, М.О. Карпаш, А.В. Яворский, И.В. Рыбицкий // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2013. – №5. – С.244 – 257. – ISSN 2073-0128. – Режим доступу: http://ogbus.ru/authors/KarpashOM/KarpashOM_1.pdf.
5. Карпаш О.М. Разработка системы оценки уровня жидкости в полостях действующих газопроводов /О.М. Карпаш, И.В. Рыбицкий, А.В. Яворский, М.О. Карпаш, Р.Ю. Банахевич // Газовая промышленность. – 2011. – Приложение/2011. – С. 13 – 15.– ISSN0016-5581.
6. Марченко А.И. Анализ методов диагностирования труб магистральных газопроводов / А.И. Марченко, Ю.В. Ильницький, Р.Ю. Банахевич // Газовая промышленность. – 2011. – Приложение/2011. – С. 38 – 40. – ISSN0016-5581.
7. Банахевич Ю.В. Досвід ідентифікації виявлених дефектів внутрішньотрубною діагностикою в ДК «УКРТРАНСГАЗ» / Ю.В. Банахевич, Р.Ю. Банахевич // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. –2013. –№02. С. 40 – 46. – ISSN0955-3835. – Режим доступу: <http://patonpublishinghouse.com/tdnk/pdf/2013/tdnk201302all.pdf>.
8. Банахевич Р.Ю. Досвід діагностичного обстеження вантового переходу МГ Івацевичі – Долина II н. через ріку Дністер / Р.Ю. Банахевич, В.О. Крупка, О.М. Марчук //Теорія і практика будівництва. – 2011. – №7. – С. 24 – 27. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Tipb_2011_7_7.pdf.
9. Карпаш О.М. Розроблення системи для оцінювання рівня рідини в порожнинах діючих газопроводів / О.М. Карпаш, І.В. Рибіцький, А.В. Яворський, М.О. Карпаш, Р.Ю. Банахевич // Збірник статей з технічного діагностування об'єктів транспорту та зберігання газу: збірник статей. – К.: 2011. – С. 3 – 6.
10. Банахевич Р.Ю. Система моніторингу рівня жидкости в полости газопроводов / Р.Ю. Банахевич, О.М. Карпаш, И.В. Рыбицкий, А.В. Яворский // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: VII международная научно-техническая конференция, 22 – 25 ноября 2011 г.: тез. докл. – Новополюкк.:

- Полоцкий гос. ун-т; под общ.ред. д-ра техн. наук, проф. В.К. Липского, 2011. – С. 133–134.– ISBN 978-985-531-270-4.
11. Банахевич Р.Ю. Чинники та причини виникнення гідратних утворень в порожнинах труб транспорту газу / Р.Ю. Банахевич // Нафтогазова енергетика-2011: Міжнародна науково-технічна конференція, 10 – 14 жовтня 2011 р.: тези доп. – Івано-Франківськ, 2011. – С. 89.
 12. Карпаш О.М. Система оцінки рівня жидкості для дійсуючих газопроводів / О.М. Карпаш, А.В. Яворський, І.В. Рибіцький, Р.Ю. Банахевич // Матеріали VI міжнародної учебно-науково-практичної конференції «Трубопровідний транспорт - 2010». – Уфа: Из-во УГНТУ. – 2010. – С. 45 – 47.
 13. Rybitskyi I.V. Stationary system of measuring the liquid level in the cavities of the existing gas pipeline / I.V. Rybitskyi, A.V. Yavorskyi, R.Yu. Banakhevych // Научні известия на НТСМ. – 2011. – №1 (121). – С. 93 – 95. – ISSN 1310-3946.
 14. Банахевич Р.Ю. Аналіз причин утворення рідинних забруднень в порожнині газопроводу / Р.Ю. Банахевич // Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 15 – 18 травня 2012 р.: тези доп. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – С. 267 – 269.
 15. Рибіцький І.В. Чинники утворення гідратних накопичень в порожнинах труб газопроводів та способи їх моніторингу / І.В. Рибіцький, Р.Ю. Банахевич, А.В. Яворський, М.О. Карпаш // Шоста Міжнародна науково-технічна конференція і виставка «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання»: Збірник тез доповідей (29 листопада – 2 грудня 2011 р.). – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2011. – С. 150 – 155.
 16. Банахевич Р.Ю. Експериментальні дослідження методу визначення рівня скупчення рідин в порожнині магістральних газопроводів / Р.Ю. Банахевич, О.М. Карпаш, М.О. Карпаш, А.В. Яворський, І.В. Рибіцький // Нафтогазова енергетика 2013: Міжнародна науково-технічна конференція, 7 – 11 жовтня 2013 р.: – Івано-Франківськ, 2013. – С. 228 – 231.
 17. Яворський А.В. Втрати природного газу в газотранспортній системі України. Засоби та методи виявлення / А.В. Яворський, О.М. Карпаш, І.В. Рибіцький, М.О. Карпаш, Р.Ю. Банахевич // Підвищення надійності та ефективності роботи лінійної частини магістральних газопроводів газотранспортної системи ДК «Укртрансгаз»: 2012. – Яремче, 2012. – С. 62 – 67.
 18. R.Yu. Banakhevych. Non-Technological Fluid Accumulation Amount Definition In Efficient Gas Pipeline Cavity / A.V. Yavorskyi, M.O. Karpash // Научні известия на НТСМ. – 2014. – №1 (150). – С. 70–72. – ISSN 1310-3946. – Режим доступу: http://www.bg-s-ndt.org/Application/Docs/NDT_2014/NDTDays2014.pdf.
 19. Банахевич Р.Ю. Розрахунок об'єму скупчень нетехнологічної рідини в порожнині діючого газопроводу / Р.Ю. Банахевич, А.В. Яворський, М.О. Карпаш // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – № 1 (32). – С. 107 – 113.– ISSN 1993-9981. – Режим доступу: <http://mpky.nung.edu.ua/sites/mpky.nung.edu.ua/files/journals/032/rub14.pdf>.
 20. Яворський А.В. Технологія моніторингу нетехнологічних скупчень рідини в порожнинах діючих газопроводів / А.В. Яворський, Р.Ю. Банахевич,

- І.В. Рибіцький, М.О. Карпаш, О.М. Карпаш // Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: 7-ма Міжнародна науково-технічна конференція і виставка, 25 – 28 листопада 2014 р.: – Івано-Франківськ. – С. 231 – 236.
21. Карпаш О.М. Підготовка персоналу газотранспортних компаній для пошуку витоків і втрат природного газу / О.М. Карпаш, І.В. Рибіцький, А.В. Яворський, М.О. Карпаш, Р.Ю. Банахевич // Підвищення надійності та ефективності роботи лінійної частини магістральних газопроводів газотранспортної системи ДК «Укртрансгаз»: 21 – 25 лютого 2011 р., збірник доп. – Яремче, 2011. – С. 32 – 37.
22. Марченко О.І. Аналіз методів діагностування труб магістральних газопроводів / О.І. Марченко, Ю.В. Ільницький, Р.Ю. Банахевич // Збірник статей з технічного діагностування об'єктів транспорту та зберігання газу: збірник статей. – К.: 2011. – С. 7 – 11.
23. Драгилев А.В. Технология ремонта опорных узлов надземных участков магистральных трубопроводов / А.В. Драгилев, А.А. Кычма, Р.Ю. Банахевич // Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта: VII международная научно-техническая конференция, 22 – 25 ноября 2011 г.: тез. докл. – Новополюцк.: Полоцкий гос. ун-т; под общ.ред. д-ра техн. наук, проф. В.К. Липского, 2011. – С. 197 – 198. – ISBN 978-985-531-270-4.
24. Марчук О.М. Про ремонт підводних переходів трубопроводів / О.М. Марчук, В.Б. Запужляк, Р.Ю. Банахевич, Р.В. Мельник // Нафтогазова енергетика 2013: Міжнародна науково-технічна конференція, 7–11 жовтня 2013 р.: – Івано-Франківськ, 2013. – С. 440 – 442.
25. Рибіцький І.В. Моніторинг скупчень газоконденсату та рідини в порожнинах діючих газопроводів / І.В. Рибіцький, Р.Ю. Банахевич, А.В. Яворський, М.О. Карпаш // Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів: матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції –ЛЕОТЕСТ-2012, 20 – 25 лютого 2012 р.: – Славське, Львівської області: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України. – С.109 – 113.
26. Банахевич Ю.В. Технологія ремонту обводнених балкових переходів магістральних газопроводів через водні перешкоди / Ю.В. Банахевич, А.В. Драгилев, Р.Ю. Банахевич, А.М. Доготер // Нафтогазова енергетика 2013: Міжнародна науково-технічна конференція, 7 – 11 жовтня 2013 р.: – Івано-Франківськ, 2013. – С. 73 – 75.
27. Яворський А.В. Діагностування скупчень нетехнологічної рідини в порожнинах діючих газопроводів / А.В. Яворський, Р.Ю. Банахевич, І.В. Рибіцький, М.О. Карпаш, О.М. Карпаш // Нафтогазова енергетика 2015: 4-та Міжнародна науково-технічна конференція, 21 – 24 квітня 2015 р.: – Івано-Франківськ, 2015. – С. 258 – 262.
28. Патент № 106840 Україна, МПК (2014.01) G01F 23/00. – № а 2013 09982; Заявл. 12.08.2013 р.; Опубл. 10.02.2014 р., Бюл. № 3. – 9 с. – Режим доступу: <http://uapatents.com/9-106840-pristriij-dlya-vimiryuvannya-rivnya-ridini-v-porozhnini-gazoprovodu.html?do=all>.

АНОТАЦІЯ

Банахевич Р.Ю. Розроблення методу діагностування скупчень у порожнинах лінійної частини магістральних газопроводів. - 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, 2015.

Наведено результати аналізу сучасного стану і тенденцій розвитку вітчизняних та закордонних досягнень із досліджуваної проблеми, що дало можливість визначити напрямки подальших досліджень.

Виконано аналіз причин утворення скупчень у порожнинах газопроводів, досліджено чинники та причини утворення гідратних утворень у порожнинах труб під час магістрального транспортування газу.

Досліджено вплив скупчень на безпечність і режими експлуатації газопроводів. Ідентифіковано місця найбільш ймовірної появи скупчень. Проведено експериментальні дослідження з метою встановлення оптимальних інформативних параметрів виявлення гідратних утворень у порожнинах магістральних газопроводів.

Розроблено дослідно-експериментальний взірець приладу для контролю наявності скупчень у порожнинах лінійної частини магістральних газопроводів.

Ключові слова: магістральні газопроводи, оброблення сигналів, системи моніторингу, скупчення рідини, фільтрація.

АННОТАЦИЯ

Банахевич Р.Ю. Разработка метода диагностирования скоплений в полостях линейной части магистральных газопроводов. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2015.

Приведены результаты анализа современного состояния и тенденций развития отечественных и зарубежных достижений по исследуемой проблеме, который позволил определить направления дальнейших исследований.

Выполнен анализ причин образования скоплений в полостях газопроводов, исследованы факторы и причины образования гидратных образований в полостях труб при магистральном транспорте газа.

Исследовано влияние скоплений на безопасность и режимы эксплуатации газопроводов. Идентифицированы места наиболее вероятного появления скоплений. Проведены экспериментальные исследования с целью установления оптимальных информативных параметров обнаружения гидратных образований в полостях магистральных газопроводов.

Разработан опытно-экспериментальный образец прибора для контроля наличия скоплений в полостях линейной части магистральных газопроводов.

Ключевые слова: магистральные газопроводы, обработка сигналов, системы мониторинга, скопление жидкости, фильтрация.

ABSTRACT

Banakhevyh R.Yu. Development of the method for non-technological accumulation diagnostics in the main gas pipelines linear parts cavities. - Manuscript.

Dissertation on competition of scientific degree of the candidate of engineering sciences at speciality – 05.15.13 pipelines, oil and gas storages, Ivano-Frankivsk, 2015.

The aim of the thesis is to solve the current problem of applied scientific research in the direction of improving methods of exploitation of main gas pipelines through the development and introduction of new methods and means of technical diagnostics clusters in the cavities of the linear part of main gas pipelines. The results of a current state analysis and domestic and foreign developments trends of the researching problem, that allowed to define further research areas.

The object of the research is the presence of a main gas pipeline liquid clusters. The subject of research is the methods and means of diagnosing fluid in main gas pipelines. The causes of clusters in the gas pipelines cavities were analyzed, the factors and causes of hydrate formation in the pipes cavities have been investigated at the main gas transport. Provisions are made for protection: the method of determining the location and level of liquids and dirt in the cavity of main gas pipeline.

To solve the problems and achieve the goal of a thesis uses methods of analytical modeling, correlation and regression analysis, interpolation data. Experimental study on developing a method of diagnosing clusters in the cavities of the linear part of main gas pipelines and generalization of results were carried out using the theory and practice of technical measurements and experimental design, methods of polynomial filtering of measurement results of mathematical statistics and probability theory, methods of numerical processing of the experimental results to enhance their credibility.

Scientific novelty of the results of the thesis by the following provisions:

1. The first time the analytical method for determining the location and volume of fluid accumulation in the cavity of main gas pipelines.
2. For the first time developed a method of technical diagnostics of gas mains pipe cavity without interference in its work and violations of pumping gas is to use ultrasonic method of determining the level of liquid in place of its accumulation in the cavity of the pipe.
3. Improved functional diagram ultrasonic method of technical diagnostics linear part of main gas pipelines, which enabled regardless of environmental conditions, to obtain reliable information on the state of the pipeline.
4. Found a further development of methods of construction and use of technical equipment and diagnostic systems for the evaluation of the technical state of gas mains, which significantly increases the reliability of the transmission system.

Solved in dissertation work tasks and the results obtained enable to increase the efficiency and reliability of gas transportation system by applying the proposed method of

diagnosing fluid accumulations for their effective withdrawal from the cavities of gas mains pipes for further implementation of in qualitative diagnosis.

The basic scientific positions and results are the essence of the thesis received the author alone. The author made the following research:

- analyzed and systematized reasons of contamination in the cavity gas pipeline;
- analyzed the methodological, technical and regulatory support of technical diagnosing gas pipeline;
- developed analytical methods for determining the location and extent of accumulation of fluid in the cavity gas pipeline;
- developed, tested and implemented in an industrial environment in the current gas pipeline experimental model, technology information and measuring system of monitoring the presence and amount of fluid in the cavity gas pipeline.

The clusters influence on safety and the gas pipelines operation modes was researched. These researches showed that liquid presence makes negatively influence at all the gas-transport system items working, complicates the main gas realization process and substantially worsens gas quality. Besides, the water presence in a gas pipeline considerably complicates the pipelines in-line inspection diagnostics procedure because in such case cleansing and diagnostic pistons damage or their destructions is possible because of the hydraulic shots.

The most probable occurrence clusters places were identified. Mainly, it takes place in the ascending overfall heights areas or in deepening. The experimental studies for determination of optimal informative parameters for detection hydrate formation in the pipelines cavities have been done.

An acoustic method for the accumulations volume estimation was suggested for using which consists in experimental dependences establishment of the ultrasonic vibrations amplitude with non-technological including type and thickness and ambient temperature that enables high precision (more than 0,9) the non-technological accumulations presence and their volume determination regardless of the environment parameters.

An experimental model device has been developed for the non-technical clusters cavities controlling in the pipelines linear parts.

Keywords: main gas pipelines, filtration, liquid accumulation, monitoring system, signal processing.