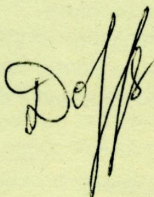


622.691.4 (043)
Ф 69

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

ДОРОШЕНКО ЮЛІЯ ІВАНІВНА



УДК 622.692.4

**ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ НА ГІДРАВЛІЧНУ
ЕНЕРГОВИТРАТНІСТЬ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ**

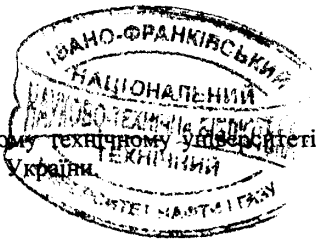
Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ - 2011

Дисертацією є рукопис.

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



Науковий керівник:

кандидат технічних наук
Михалків Володимир Богданович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри транспорту і зберігання нафти і газу.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Тимків Дмитро Федорович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри інформатики;

кандидат технічних наук
Банахевич Юрій Володимирович,
ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України», начальник управління експлуатації магістральних газопроводів та газорозподільних станцій.

Захист відбудеться 24 лютого 2011 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розісланий "19" січня 2011 р.

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

Л.Д. Пилипів



an2147

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Поліетиленові труби усе ширше застосовуються у вітчизняній та світовій практиці спорудження та реконструкції газових мереж. Вони дешевші, ніж сталеві, їх легко монтувати, зварювання максимально автоматизоване, вони не кородують, дозволяють реконструювати газової мережі безтраншейними технологіями (метод “труба в трубі”).

Основним чинним нормативним документом, який встановлює вимоги до проектування газових мереж як зі сталевих, так і з поліетиленових труб в Україні є ДБН В.2.5-20-2001 “Газопостачання. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди”. За однією і тою ж самою методикою, наведеною у цьому нормативному документі, проектується газові мережі як зі сталевих, так і з поліетиленових труб. Такий уніфікований підхід до проектування газових мереж із труб із різною шорсткістю внутрішньої поверхні та з різними за конструкцією місцевими опорами є сумнівним і вимагає досліджень. Так місцеві опори поліетиленових трубопроводів на сьогодні практично не вивчені. Для них відсутні довідкові дані значень їх коефіцієнтів, а залежностей для їх розрахунку немає. До того ж у ряді випадків вони мають значно складнішу конфігурацію внутрішньої поверхні, ніж аналогічні місцеві опори сталевих трубопроводів, а отже і їх коефіцієнти є значно більші. Тому прийняті у ДБН В.2.5-20-2001 припущення про те, що втрати напору у місцевих опорах рівні 10 % від втрат напору по довжині для поліетиленових трубопроводів, шорсткість внутрішньої поверхні яких у декілька разів менша, ніж сталевих, вимагає перегляду. Тільки газові мережі, проектування яких здійснюється за методиками максимально наближеними до реальних умов є мінімально гідравлічно енерговитратні, завжди здатні забезпечити мінімально-допустимі тиски усім споживачам та мають перспективу розвитку. Тому теоретичні та експериментальні дослідження газових мереж із поліетиленових труб на сьогодні є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є оцінювання впливу місцевих опорів на гідравлічну енерговитратність поліетиленових газових мереж при стаціонарних та нестаціонарних процесах. Розробка заходів для зменшення втрат тиску у газових мережах.

Для досягнення цієї мети треба розв’язати наступні задачі:

1. Дослідити методичні аспекти проектування та розрахунку газових мереж із поліетиленових труб. Встановити як визначається вплив місцевих опорів поліетиленових трубопроводів на втрати енергії газового потоку при довільних режимах течії середовища. Розглянути конструкції місцевих опорів поліетиленових трубопроводів.

2. Теоретично та експериментально дослідити динаміку руху газу терморезисторними з’єднаннями поліетиленових трубопроводів та визначити коефіцієнти їх місцевих опорів.

3. Розробити методологічні і конструктивні рішення для зменшення втрат енергії газового потоку у поліетиленових газових мережах.

4. Дослідити нестаціонарні процеси у поліетиленових газових мережах.

Об’єктом досліджень є поліетиленові газові мережі довільної конфігурації (розгалужене дерево, кільцева).

Предметом досліджень є газодинамічні процеси в поліетиленових газових мережах низького та середнього тисків.

Методи дослідження. Обробка результатів теоретичних та експериментальних досліджень виконувалась із використанням: скінченно-об'ємних методів розв'язання рівнянь газодинаміки; методів математичного планування і проведення експериментів та обробки їх результатів; методів модульного та об'єктно-орієнтовного програмування; методів візуального програмування; методів чисельного інтегрування диференційних рівнянь у часткових похідних (у тому числі методів інтегрального співвідношення); методів оптимізації, насамперед динамічного програмування та інших методів чисельного аналізу; методів математичної статистики та регресійного аналізу.

Положення, що захищаються. Закономірності газодинамічних процесів у газових мережах низького та середнього тисків із поліетиленових труб при стаціонарних та нестаціонарних газових потоках.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі у результаті виконання експериментальних та теоретичних досліджень вперше:

- досліджено динаміку руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів, виявлено місця утворення вихорів, реверсного руху газу, відривання потоку газу від стінки терморезисторного з'єднання;

- визначено коефіцієнт місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання поліетиленових трубопроводів та досліджено його залежність від типорозміра з'єднання;

- виявлено додатковий поділ турбулентної зони та визначено відповідні проміжні числа Рейнольдса для газових мереж середнього та низького тисків із поліетиленових труб;

- встановлено, що втрати тиску у терморезисторних з'єднаннях поліетиленових трубопроводів значно перевищують 10 % від втрат по довжині, обґрунтовано необхідність здійснення проектних розрахунків газових мереж із урахуванням коефіцієнта місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання та визначено коефіцієнт еквівалентної довжини залежно від типу місцевих опорів та їх кількості на 1 км довжини газової мережі;

- запропоновано конструктивні шляхи зменшення втрат тиску у газовій мережі із поліетиленових труб, підтверджено ефективність застосування удосконалених конструкцій терморезисторних з'єднань;

- запропоновано новий підхід до моделювання нестаціонарних процесів у газових мережах із поліетиленових труб із урахуванням гідравлічного опору ділянок. Розроблено метод пошуку квазіоптимальних рішень у задачах керування газовими мережами при нестаціонарному режимі руху.

Практична цінність отриманих результатів:

Запропоновані у дисертаційній роботі проектні та конструктивні рішення дозволяють зменшити гідравлічну енерговитратність поліетиленових газових мереж, забезпечувати усім споживачам мінімально-допустимий тиск та забезпечувати можливість розвитку газової мережі.

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

- теоретично та експериментально досліджено динаміку руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів [3-5];
- визначено коефіцієнт місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання поліетиленових трубопроводів [3];
- встановлено, що втрати тиску у терморезисторних з'єднаннях поліетиленових трубопроводів значно перевищують 10 % від загальних втрат по довжині, та обґрунтовано необхідність здійснення проектних розрахунків газових мереж із урахуванням коефіцієнта місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання [1, 2, 4, 6];
- удосконалено конструкції з'єднань поліетиленових трубопроводів та обґрунтовано ефективність їх застосування [7, 8];
- проведено моделювання нестационарних процесів у газових мережах із поліетиленових труб [9].

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

- Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених “Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії” (Івано-Франківськ, 2008);
- Міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи.” (Івано-Франківськ, 20.10-23.10.2009);
- V Міжнародній навчально-науково-практичній конференції “Трубопроводний транспорт-2009” (Уфа, 5.11-6.11.2009);
- науково-практичній конференції “Шляхи підвищення ефективності експлуатації трубопроводного транспорту нафти і газу та підготовки кадрів галузі” (Івано-Франківськ, 2.09-3.09.2010).

У повному обсязі результати досліджень доповідалися на засіданні кафедри транспорту і зберігання нафти і газу ІФНТУНГ та розширеному науковому семінарі факультету нафтогазопроводів.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 9 друкованих праць у фахових виданнях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація викладена на 161 сторінці, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 115 рисунків, 9 таблиць, списку використаних джерел, який містить 203 найменувань, та 4 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, висвітлено наукове і практичне значення отриманих результатів. Наведена інформація про апробацію роботи, її впровадження, розкритий особистий внесок автора і вказана кількість публікацій.

У першому розділі проведений аналіз методик проектування газових мереж середнього та низького тиску.

Аналіз методик проектування газових мереж засвідчив, що проектування газових мереж із сталених та поліетиленових труб здійснюється за аналогічними методиками. В усіх методиках, у тому числі наведеній у нормативному документі, втрати тиску у місцевих опорах приймаються рівними 10 % від втрат по довжині. Таке по-

ложення для поліетиленових труб є сумнівним, оскільки шорсткість внутрішньої поверхні поліетиленових труб є в декілька разів менша, ніж сталевих, а місцеві опори в ряді випадків мають значно складнішу конфігурацію внутрішньої поверхні ніж аналогічні місцеві опори сталевих трубопроводів, а отже їх коефіцієнти є значно більші. Місцеві опори поліетиленових трубопроводів на сьогодні практично не вивчені, для них відсутні довідкові дані значень їх коефіцієнтів, а залежностей для їх розрахунку немає.

З метою вивчення місцевих опорів поліетиленових трубопроводів було розглянуто усі методи з'єднання поліетиленових труб в нитку та встановлено, що величини місцевих опорів поліетиленових трубопроводів залежать від технології зварювання поліетиленових труб. Тільки у разі застосування терморезисторного з'єднання утворюються місцеві опори, які не мають аналогів та чинять найбільший вплив на динаміку руху газу трубопроводом. Тому терморезисторні з'єднання вимагають детальних досліджень. В практиці спорудження газових мереж із поліетиленових труб саме ці з'єднання отримали найширше розповсюдження.

Здійснено аналіз конструкції кожного терморезисторного з'єднання та встановлено, що кожне з'єднання складається з декількох простих місцевих опорів, які близько розміщені один від одного (різких розширень, різких звужень, поворотів тощо), а отже, попередній місцевий опір впливає на місцевий опір розміщений за ним, що унеможливує здійснення розрахунку коефіцієнтів місцевих опорів терморезисторних з'єднань поліетиленових трубопроводів за відомими залежностями.

Не зважаючи на значну кількість робіт, присвячених удосконаленню методів проектування газових мереж, низка важливих для теорії та практики питань не знайшла у них відображення.

За результатами аналізу наведених в літературних джерелах методик проектування газових мереж було сформовано задачі досліджень.

У другому розділі приведені результати теоретичних та експериментальних досліджень динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів.

Для теоретичних досліджень динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів було застосовано програмний комплекс Flow Vision, який базується на скінчено-об'ємному методі розв'язку рівнянь гідродинаміки.

Математичною моделлю руху газу, яка застосовується в програмному комплексі є сукупність рівнянь, а саме рівняння Нав'є-Стокса, яке складається з двох рівнянь записаних у векторній формі: рівняння руху газу та рівняння нерозривності.

Для моделювання динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів була вибрана стандартна $k-\varepsilon$ (k – турбулентна енергія, ε – швидкість дисипації турбулентної енергії) модель турбулентності, яка дозволяє отримати достатньо точні результати.

Стандартна $k-\varepsilon$ модель турбулентності передбачає розв'язання наступних рівнянь:

- рівняння переносу турбулентної енергії k

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho \vartheta k) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \mu_t G - \rho \varepsilon ; \quad (1)$$

- рівняння переносу турбулентної дисипації ε

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho \vartheta \varepsilon) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \mu_t G - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (2)$$

де ϑ – швидкість газу; μ – молекулярна динамічна в'язкість газу; μ_t – турбулентна динамічна в'язкість газу; σ_k – коефіцієнт, який рівний одиниці; G – розрахунковий параметр; σ_ε – коефіцієнт, який рівний $\sigma_\varepsilon=1,3$, C_1 – коефіцієнт, який рівний $C_1=1,44$; C_2 – коефіцієнт, який рівний $C_2=1,92$.

Тривимірні моделі терморезисторних з'єднань, конструкція та геометричні розміри яких ідентичні промисловим зразкам, створювались в програмному комплексі MSC Nastran звідки імпортувались в програмний комплекс Flow Vision.

Для аналізу зміни швидкості потоку газу та тиску газу вздовж поліетиленового трубопроводу в місці установа терморезисторних з'єднань результати розрахунків візуалізувались в постпроцесорі програмного комплексу шляхом побудови тонової заливки модуля швидкості, векторів швидкості, які вказують напрям руху газу, тонової заливки тиску та графіків зміни швидкості і тиску вздовж трубопроводу. Приклад одержаних результатів для терморезисторного коліна наведено на рис. 1-3.

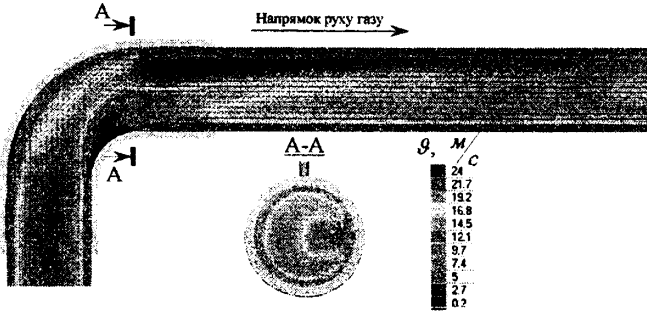


Рис. 1. Розподіл модуля швидкості потоку газу та вектори швидкості газу в площині горизонтального повздовжнього перерізу терморезисторного коліна

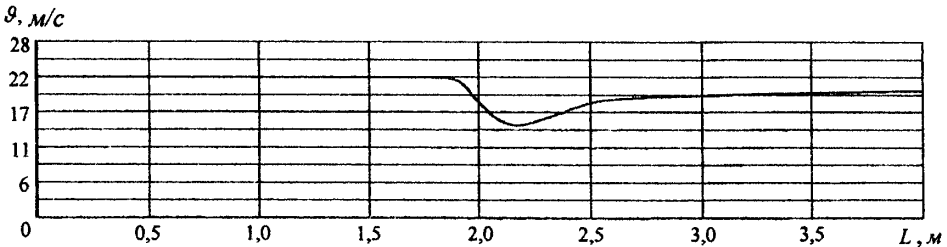


Рис. 2. Зміна швидкості потоку газу вздовж повздовжньої осі терморезисторного коліна

Так під час проходження газового потоку терморезисторним коліном, у місці різкого розширення біля зовнішньої стінки утворюється незначний вихор, а біля внутрішньої стінки відбувається значне зниження швидкості потоку із відриванням потоку від стінки і утворенням значного вихору (рис. 1). Такий розподіл швидкостей є нехарактерним для колін і зумовлений наявністю різкого розширення та різкого звуження та є однією з причин значного падіння тиску на виході коліна (рис. 3). У місці встановлення терморезисторної муфти між поліетиленовими трубами утворюється стійкий вихор, який приводить до незначного падіння тиску. У сідловому трійнику при русі газу основною магістраллю та відводом у сідловині трійника відбувається реверсний рух газу та відривання потоку від стінки на вході у відвід, що приводить до значного зменшення швидкості та тиску у відводі сідлового трійника. Аналогічна картина спостерігається при русі газу тільки відводом сідлового трійника.

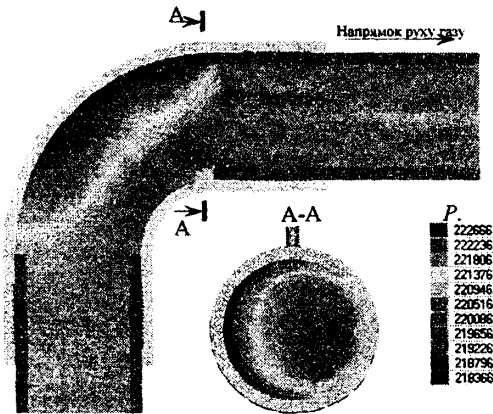


Рис. 3. Розподіл тиску в площині горизонтального повздовжнього перерізу терморезисторного коліна

Ці процеси є однією з причин падіння тиску на виході редуційного перехідника. Під час проходження газового потоку відводом та основною магістраллю терморезисторного трійника між поліетиленовими трубами напроти відводу спостерігається реверсний рух газу, що є однією з причин падіння тиску у основній магістралі, а на початку відводу відривання газового потоку від стінки, що є однією з причин падіння тиску у відводі. Виявлені місця реверсного руху газу, місця утворення вихорів та відривання потоку від стінки терморезисторних з'єднань свідчать, що під час розробки існуючих конструкцій терморезисторних з'єднань не враховувалось, який вплив вони будуть чинити на втрати тиску у газовій мережі. За падінням тиску на терморезисторних з'єднаннях визначених з графіків зміни тиску вздовж з'єднання та швидкістю газу перед входом у з'єднання визначено коефіцієнт місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання (табл. 1).

Коефіцієнти місцевих опорів терморезисторних з'єднань поліетиленових трубопроводів визначені теоретично та експериментально

Коефіцієнт місцевого опору терморезисторного з'єднання	Терморезисторне з'єднання						
	муфта	коліно	сідловий трійник		трійник		перехід редуційний
			Газ рухається тільки основною магістраллю	Газ рухається тільки відводом	Газ рухається тільки основною магістраллю	Газ рухається тільки відводом	
Теоретичний	0,2	2,1	0,15	26	0,2	5,4	16,6
Експериментальний	0,2	2,8	0,20	35	0,2	6,5	20,8

Експериментальні дослідження динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів проводились на базі ВАТ "Івано-Франківськгаз" у лабораторії перевірки промислових лічильників газу на природному газі. Для цього було розроблено і побудовано експериментальний стенд (рис. 4).

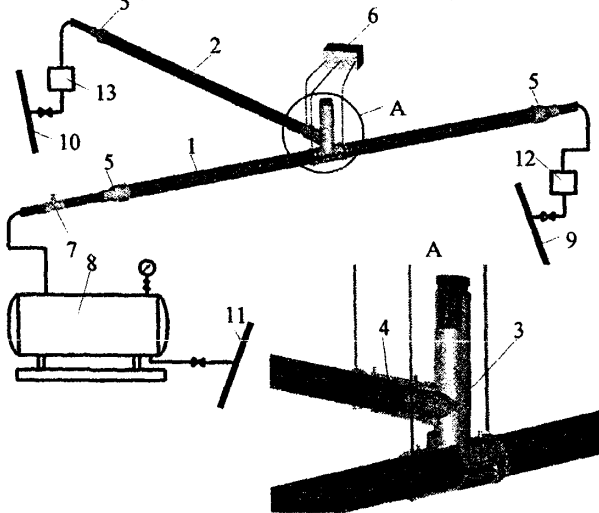


Рис. 4. Схема експериментального стенда для дослідження динаміки руху газу сідловим трійником:

- 1 – поліетиленовий трубопровід (основна магістраль); 2 – поліетиленовий трубопровід (відвід); 3 – сідловий трійник; 4 – терморезисторна муфта;
- 5 – редуційний перехідник; 6 – багатопараметричний перетворювач тиску, температури та перепаду тиску Фішер модель 3095; 7 – голковий вентиль;
- 8 – ресивер; 9, 10, 11 – діючий газопровід; 12, 13 – двоканальний обчислювач об'єму газу ОЕ-22ЛІА/2.

Для експериментальних досліджень було підібрано об'єкти досліджень – терморезисторні з'єднання поліетиленових трубопроводів (муфти, сідлові трійники, коліна, редуційні перехідники, трійники) різних типорозмірів. Для вивчення одночасного впливу ряду чинників (багаточинниковий експеримент) на досліджуваний об'єкт застосовують методи математичного планування експерименту.

За результатами експериментальних досліджень побудовано графічні залежності коефіцієнта місцевого опору від числа Рейнольдса для різного типорозміру терморезисторних з'єднань при низькому та середньому тисках (рис. 5). Різкі стрибки на графічних залежностях свідчать про виникнення завихрень під час проходження газового потоку з'єднаннями, місця розміщення яких були виявлені під час теоретичних досліджень динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями. Проведені дослідження виявили додатковий поділ турбулентної зони та було визначено відповідні перехідні числа Рейнольдса залежно від значення гідравлічної шорсткості труб. Зі збільшенням числа Рейнольдса коефіцієнт місцевого опору спочатку зменшується, а при досягненні критичного числа знову починає зростати. Критичне число Рейнольдса, при якому досягається мінімум, а також числа Рейнольдса загалом залежать від відносної (гідравлічної) шорсткості, яка у свою чергу залежить від товщини пристінового шару.

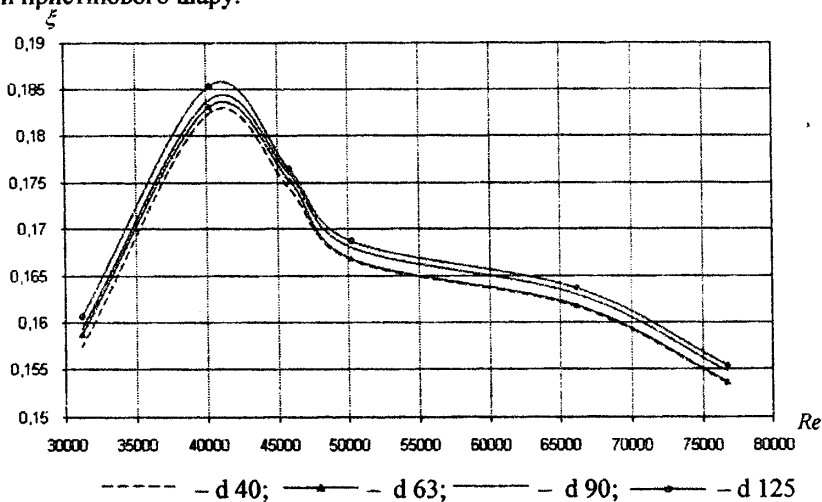


Рис. 5. Залежність коефіцієнта місцевого опору сідлового трійника від числа Рейнольдса при русі потоку газу тільки основною магістраллю для різних типорозмірів труб (мережа низького тиску)

Виведено математичні залежності, які дозволяють визначити коефіцієнти місцевих опорів терморезисторних з'єднань для кожної зони. Так для сідлового трійника при русі потоку газу тільки основною магістраллю (мережа низького тиску) залежність коефіцієнта місцевого опору від числа Рейнольдса наступна:

- при $31000 < Re < 40000$

$$\xi = 2,754 \cdot 10^{-6} \cdot Re + 0,07167; \quad (3)$$

- при $40000 < Re < 50000$

$$\xi = -1,579 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Re} + 0,2462; \quad (4)$$

- при $50000 < \text{Re}$

$$\xi = -1,708 \cdot 10^{-11} \cdot \text{Re}^2 + 1,673 \cdot 10^{-6} \cdot \text{Re} + 0,1257. \quad (5)$$

Аналогічні графічні та аналітичні залежності одержані для решти терморезисторних з'єднань поліетиленових трубопроводів.

За результатами експериментальних досліджень було визначено значення коефіцієнтів місцевих опорів терморезисторних з'єднань (табл. 1). Експериментальні дослідження підтвердили адекватність теоретичних досліджень динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів.

Третій розділ присвячений розробці рекомендацій з удосконалення методики проектування газових мереж із поліетиленових труб, удосконаленню конструкції терморезисторних з'єднань та дослідженню ефективності застосування удосконалених конструкцій терморезисторних з'єднань.

Теоретичні та експериментальні дослідження, описані у розділі 2, засвідчили, що у терморезисторних з'єднаннях відбуваються значні втрати тиску, які є значно більші, ніж втрати тиску в аналогічних місцевих опорах сталевих трубопроводів. Також втрати тиску по довжині залежать від шорсткості внутрішньої поверхні труб, яка для поліетиленових трубопроводів є в декілька разів менша, ніж для сталевих, а тому втрати тиску по довжині для поліетиленових трубопроводів будуть менші, ніж для сталевих. Тому прийняте у ДБН В.2.5-20-2001 положення про те, що втрати напору у місцевих опорах дорівнюють 10 % від загальних втрат по довжині, для поліетиленових трубопроводів є сумнівним і вимагає проведення відповідних досліджень. З цією метою була розроблена схема газової мережі реального населеного пункту і проведено її розрахунок за методикою наведеною у ДБН В.2.5-20-2001 та розрахунок із урахуванням місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання, які визначались за методикою наведеною в розділі 2. Результати розрахунку газової мережі за основними напрямками наведено в табл. 2.

Як бачимо, у разі розрахунку газової мережі із поліетиленових труб за методикою наведеною у ДБН В.2.5- 20-2001 втрати тиску набагато менші, ніж у разі розрахунку газової мережі із урахуванням кожного місцевого опору. Втрати тиску у місцевих опорах при урахуванні кожного місцевого опору на деяких ділянках досягають набагато більшої величини, ніж закладені в нормативну методику, а в окремих випадках набагато перевищують втрати тиску по довжині. Якщо ж урахувати ще підключення додаткових споживачів газу за допомогою сідлового трійника, то необхідно геометричні параметри системи, зокрема діаметр трубопроводів, на деяких ділянках треба збільшити на декілька порядків. Тому урахування кожного місцевого опору поліетиленових трубопроводів дозволить на стадії проектування забезпечити мінімально-допустимий тиск усім споживачам та можливість розвитку газової мережі.

Таблиця 2

Втрати тиску по основних напрямках газової мережі із поліетиленових труб розраховані за методикою наведеною у ДБН В.2.5-20-2001 та розраховані із урахуванням місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання

Основний напрямок	Кількість місцевих опорів (загальна)	Кількість місцевих опорів (на 1 км)	Довжина, м	Загальні втрати, Па		Кінцевий тиск, Па		% від допустимого перепаду тиску (1200), Па	
				За методикою наведеною у ДБН В.2.5 – 20-2001	Із урахуванням місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання	За методикою наведеною у ДБН В.2.5 – 20-2001	Із урахуванням місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання	За методикою наведеною у ДБН В.2.5 – 20-2001	Із урахуванням місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання
1	1123	598	1878	567	785	2433	2215	47	65
2	602	277	2174	650	905	2350	2094	54	75
3	18	37	486	365	347	2653	2635	30	29

На основі проведених досліджень було визначено коефіцієнти еквівалентної довжини залежно від кількості місцевих опорів на 1 км довжини газової мережі та типу місцевих опорів. Таким чином, при кількості місцевих опорів менше 3 треба враховувати коефіцієнт місцевого опору кожного з'єднання, при кількості місцевих опорів від 4 до 9 коефіцієнт еквівалентної довжини складає 1,1, від 10 до 14 – 1,2, від 15 до 19 – 1,3, від 20 до 24 – 1,4, від 25 до 49 – 1,5, від 50 до 59 – 1,93, від 60 до 69 – 2,12, від 70 до 79 – 2,3, від 80 до 89 – 2,5, від 90 до 100 – 2,7, а вище 100 – 2,9. Для спрощення таких розрахунків розроблене відповідне програмне забезпечення.

Зменшити втрати тиску в газових мережах із поліетиленових труб можна зменшивши коефіцієнти місцевого опору терморезисторних з'єднань, що досягається шляхом удосконалення їх конструкції. Удосконалення полягає у виключенні чи суттєвому зменшенні втрат тиску у терморезисторних з'єднаннях, які зумовлені вихоруванням, відриванням потоку від стінки та реверсним рухом газу, місця розміщення яких були виявлені під час теоретичних досліджень динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями.

Удосконалення полягають у усуненні кільцевої порожнини між поліетиленовими трубами у місці установлення терморезисторного з'єднання шляхом виконання кільцевих виступів стосовно коліна (рис. 6, рис. 7), муфти, редукційного перехідника, трійника та виконання подовженої заглушки стосовно сідлового трійника.

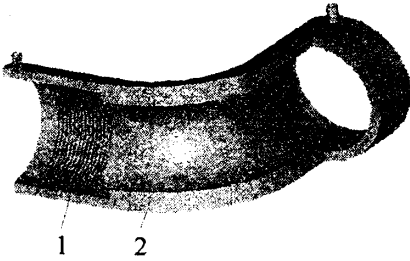


Рис. 6. Терморезисторне коліно з кільцевим виступом:
1 – спіраль; 2 – кільцевий виступ.

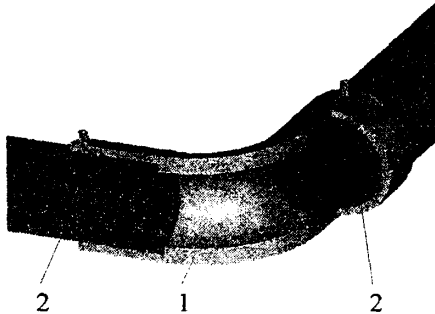


Рис. 7. Встановлене терморезисторне коліно з кільцевим виступом:
1 – терморезисторне коліно з кільцевим виступом; 2 – поліетиленова труба.

Ефективність запропонованих удосконалень була підтверджена за допомогою програмного комплексу Flow Vision. Так у терморезисторному коліні завдяки кільцевому виступу вихори, які були у місцях різкого розширення та звуження усуваються (рис. 8).

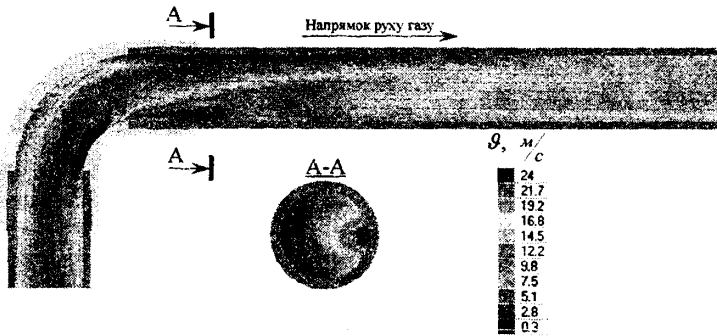


Рис. 8. Розподіл модуля швидкості потоку газу та вектори швидкості газу в площині горизонтального повздовжнього перерізу терморезисторного коліна з кільцевим виступом

Розподіл швидкостей стає характерним для повороту. З тонової заливки тиску в площині горизонтального повздовжнього перерізу терморезисторного коліна з кільцевим виступом (рис. 9) було визначено перепад тиску на терморезисторному коліні з кільцевим виступом. За цим перепадом тиску та швидкістю газу перед входом у терморезисторне коліно визначено коефіцієнт місцевого опору терморезисторного коліна з кільцевим виступом, який складає $\xi = 0,46$, що на 80 % менше ніж коефіцієнт місцевого опору терморезисторного коліна без кільцевого виступу (табл. 1).

У разі встановлення удосконаленої терморезисторної муфти падіння тиску у місці з'єднання труб не буде.

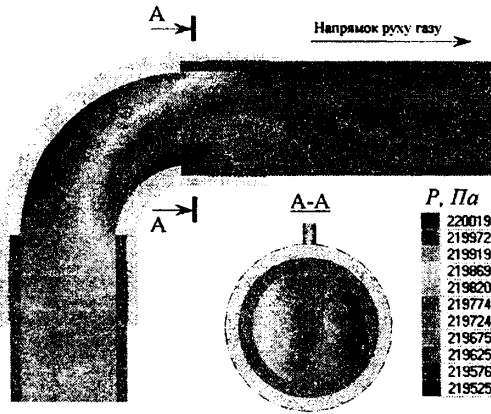


Рис. 9. Розподіл тиску в площині горизонтального повздовжнього перерізу терморезисторного коліна з кільцевим виступом

Коефіцієнт місцевого опору удосконаленого терморезисторного редукційного перехідника з кільцевим виступом складає $\xi = 11,6$, що на 30 % менше, ніж стандартного терморезисторного редукційного перехідника. Коефіцієнт місцевого опору сидлового трійника з подовженою заглушкою при русі газового потоку тільки відводом трійника рівний $\xi = 23$, що на 11,5 % менше, ніж сидлового трійника із стандартною заглушкою.

Удосконалені конструкції терморезисторних з'єднань поліетиленових трубопроводів впроваджені у ТЗОВ "Прикарпатська полімерна компанія".

Четвертий розділ присвячений розробці методики проектування газових мереж із поліетиленових труб з урахуванням нестационарності газодинамічних процесів.

Розрахунки газових мереж середнього та низького тиску, наведені в розділі 3, базуються на рівняннях, які описують стаціонарний рух газу. Газові мережі, як правило, працюють у нестационарних режимах. Крім змінних графіків газоспоживання на величину нестационарності впливає ряд інших причин: вихід із ладу обладнання, розриви трубопроводів, гідратуутворення, зміни режимів газопостачання.

Проаналізовано можливі аварійні ситуації в газовій мережі із поліетиленових труб та існуючі алгоритми розрахунків нестационарних процесів систем газопостачання. На основі проведеного аналізу розроблено математичну модель поведінки газової мережі при нестационарних процесах, які виникають унаслідок аварійних ситуацій, а також у випадку відключення споживачів в разі несплати або аварії. Більшість аварій це є витіки газу з газопроводів. У момент появи витіку вздовж газопроводу та у часі змінюються тиск та витрата. Через певний час після появи витіку відбувається стабілізація потоку і відповідних параметрів та встановлюється новий стаціонарний або близький до стаціонарного режим. Таким чином, для аналізу аварійних станів газопроводів та їх впливу на параметри газопостачання необхідно розглядати не тільки стаціонарні режими газопостачання, але й нестационарні.

Для опису нестационарного процесу в газопроводі з неперервним по довжині поступленням чи відбиранням газу основними рівняннями є: система рівнянь руху та балансу газу; рівняння зміни масової витрати в газопроводі із шляховими відборами чи підкачуваннями газу; диференційне рівняння зміни тиску в газопроводі при нестационарних режимах руху газу; диференційне рівняння зміни тиску для лінійного профілю та горизонтального газопроводу.

Для моделювання нестационарних процесів в газових мережах із поліетиленових труб застосовується метод агрегативного підходу та розроблено агрегативну модель (рис. 10).

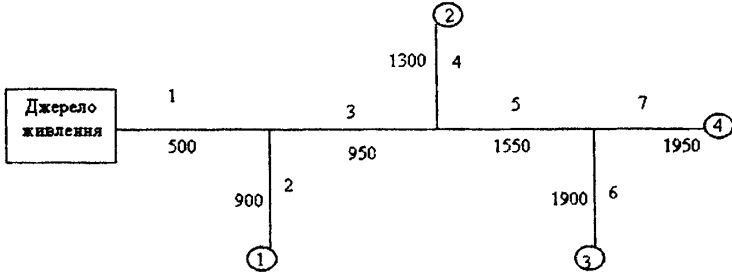


Рис. 10. Агрегативна модель досліджуваної газової мережі

Результати розрахунків зміни тиску та масової витрати в часі при відключенні ділянки 6 газової мережі представлено графічно (рис. 11, рис. 12). Аналогічні графічні залежності отримані при відключенні інших ділянок.

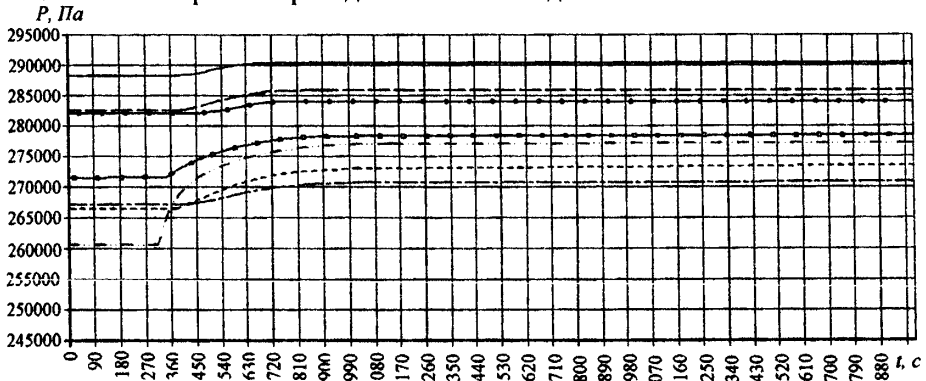


Рис. 11. Зміни тиску в газовій мережі при відключенні ділянки 6:

— ділянка 1; —•— ділянка 2; — — — ділянка 3; — — — — ділянка 4;
—•—•— ділянка 5; — — — — ділянка 6; — — — — ділянка 7.

Встановлено, що час стабілізації потоку при аварійному відключенні відповідних ділянок залежить від координати відключеного відбору та від величини відключеного відбору. Чим більша величина відключеного відбору, тим більше часу треба для стабілізації газового потоку. Час початку стабілізації потоку не залежить від витрати, а залежить тільки від координати відбору. Найбільший вплив на зміну тиску має відключення останньої ділянки.

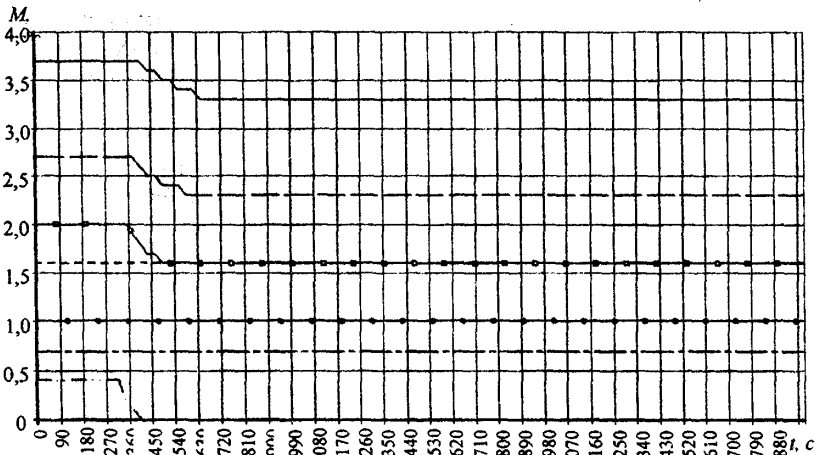


Рис. 12. Зміни витрати в газовій мережі при відключенні ділянки 6:

— ділянка 1; ◆— ділянка 2; —•— ділянка 3; —■— ділянка 4;
 ▲— ділянка 5; - - - ділянка 6; - - - ділянка 7.

У цьому випадку відбувається ефект гідравлічного удару і тиск у мережі значно підвищується, що може призвести до аварійно-небезпечних ситуацій. Тому при відключенні усіх ділянок, а останньої ділянки насамперед, треба проводити закриття запірної арматури плавно без різкого перекривання потоку. Аналогічно після ремонтних робіт загальний час стабілізації роботи мережі буде менший при першочерговому підключенні найдальших ділянок. Зміни тиску при введенні в експлуатацію ділянки 2 та збільшенні гідравлічного опору ділянки 6 наведено на рис. 13.

Аналогічні графічні залежності наведені в дисертаційній роботі для інших ділянок. Отримані результати вказують на те, що час стабілізації тим більший, чим більший відбір газу споживачами мережі. Величина гідравлічного опору ділянок на час стабілізації при відновленні роботи газової мережі не впливає. Найбільший вплив має збільшення гідравлічного опору максимально наближених до джерела газопостачання ділянок. При збільшенні гідравлічного опору ділянок тиски суттєво зменшуються. Тому врахування місцевих опорів терморезисторних з'єднань поліетиленових трубопроводів дозволить забезпечити усіх споживачів необхідним мінімально-допустимим тиском та забезпечити можливість розвитку мережі.

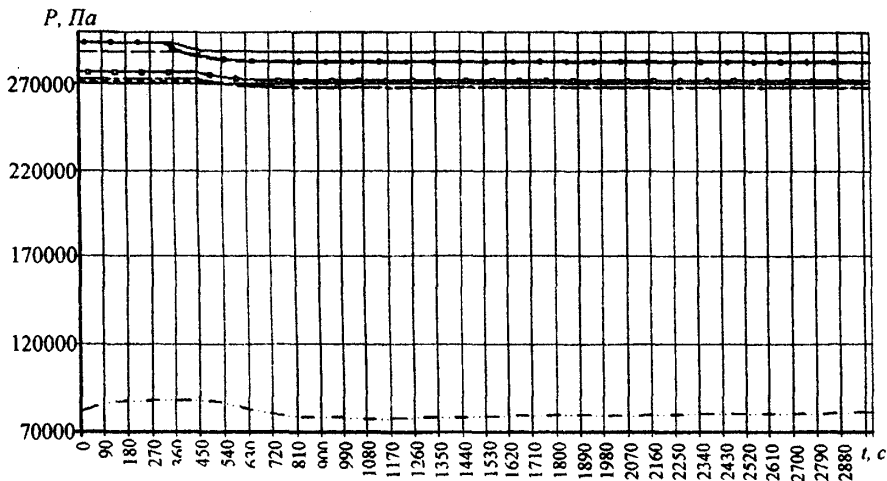


Рис. 13. Зміни тиску при введенні в експлуатацію ділянки 2 та збільшенні гідравлічного опору ділянки 6:

— ділянка 1; —♦— ділянка 2; —♦— ділянка 3; —♦— ділянка 4;
 —♦— ділянка 5; —♦— ділянка 6; —♦— ділянка 7.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів вирішено важливу наукову задачу зменшення гідравлічної енерговитратності поліетиленових газових мережах, а саме:

1. На основі досліджень сучасної практики проектування газових мереж встановлено, що для газопроводів із поліетиленових труб втрати тиску в місцевих опорах приймаються рівними 10 % від загальних втрат по довжині, тоді як значення еквівалентної шорсткості поліетиленових труб є значно меншим, ніж сталевих, а поліетиленові газові мережі містять місцеві опори, що мають складнішу конфігурацію внутрішньої поверхні.

2. Теоретичні дослідження динаміки руху газу місцевими опорами поліетиленових трубопроводів дозволили виявити, що у терморезисторних з'єднаннях спостерігається вихороутворення, наявний реверсний рух газу, відбувається відривання потоку від стінки фітинга, що у свою чергу приводить до значних втрат тиску. Теоретично визначено коефіцієнт місцевого опору кожного терморезисторного з'єднання, адекватність чого підтверджена експериментально. Експериментально виявлено додатковий поділ турбулентної зони і відповідні перехідні числа Рейнольдса та виведено математичні залежності для визначення коефіцієнта місцевого опору кожної зони.

3. Втрати тиску у терморезисторних з'єднаннях поліетиленових трубопроводів значно перевищують 10 % від втрат по довжині. Визначено коефіцієнти

еквівалентної довжини залежно від типу та кількості місцевих опорів на 1 км довжини газових мереж (коефіцієнт може бути рівний від 1 до 2,9).

Запропоновано конструктивні шляхи зменшення коефіцієнтів місцевих опорів терморезисторних з'єднань поліетиленових трубопроводів. Теоретично підтверджено ефективність застосування удосконалених конструкцій терморезисторних з'єднань (коефіцієнт місцевого опору удосконалених конструкцій менший від існуючих на 11,5 – 80 %). Результати проведених досліджень та розроблені удосконалені конструкції терморезисторних з'єднань поліетиленових трубопроводів впроваджені у ТЗОВ “Прикарпатська полімерна компанія”, що дозволяє отримати економічний ефект в розмірі 20 тис. грн. в рік при газифікації одного населеного пункту на 2000 жителів.

4. Здійснено моделювання нестационарних процесів у газових мережах із поліетиленових труб із урахуванням попередньо визначених коефіцієнтів місцевих опорів терморезисторних з'єднань. Визначено вплив місцевих опорів на проходження аварійних процесів у поліетиленових газових мережах, розраховано необхідний час функціонування газової мережі при відключенні ділянок. Запропоновано оптимальні шляхи відновлення стабільної роботи газової мережі після аварійного або планового ремонту.

Запропоновано новий підхід до моделювання нестационарних процесів у газових мережах із поліетиленових труб із урахуванням місцевого опору ділянок мережі, який знайшов відображення у розробленому галузевому керівному документі ВАТ “Укргазпроєкт” “Комплексна галузева методика розрахунку газових мереж із поліетиленових і сталевих труб”.

Основний зміст роботи опубліковано у таких працях

- 1 Середюк М.Д. Визначення пропускної здатності розгалужених газових мереж високого і середнього тиску / М.Д. Середюк, А.С. Івоняк, Ю.І. Зарубіна // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2001. - №38 (том 5). – С. 61-69.
- 2 Зарубіна Ю.І. Оптимізація геометричних параметрів систем розподілу газу променевої структури / Ю.І. Зарубіна, М.Д. Середюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. - №2 (11). – С. 38-43.
- 3 Зарубіна Ю.І. Вплив місцевих опорів на роботу систем газопостачання низького тиску / Ю.І. Зарубіна, В.Б. Михалків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. - №1 (18). – С. 29-33.
- 4 Зарубіна Ю.І. Оптимізація геометричних параметрів системи газопостачання / Ю.І. Зарубіна, В.Б. Михалків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. - №3 (20). – С. 104-113.
- 5 Зарубіна Ю.І. Експериментальне дослідження місцевих опорів / Ю.І. Зарубіна // Нафтогазова енергетика. – 2008. - №2(7). - С. 24-27.
- 6 Зарубіна Ю.І. Вибір оптимальних параметрів системи газопостачання за показниками надійності / Ю.І. Зарубіна, В.Б. Михалків // Науковий вісник. – 2009. - № 3 (21). - С. 11-19.

7 Дорошенко Я.В. Міцність криволінійних ділянок трубопроводів / Я.В. Дорошенко, Ю.І. Дорошенко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. - №2 (35). – С. 112-116.

8 Дорошенко Я.В. Застосування сучасних програмних комплексів комп'ютерного моделювання для підвищення якості проектування та спорудження трубопроводів / Я.В. Дорошенко, Ю.І. Дорошенко, С.І. Тихонов // Науковий вісник. – 2010. - №2 (24). – С. 117-120.

9 Дорошенко Ю.І. Моделювання нестационарних процесів у системах газопостачання населених пунктів / Ю.І. Дорошенко, В.Б. Михалків // Науковий вісник. – 2010. - №3 (25). – С. 116-124.

АНОТАЦІЯ

Дорошенко Ю.І. – Оцінювання впливу місцевих опорів на гідравлічну енерговитратність поліетиленових газових мереж. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 - Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2010.

Дисертацію присвячено оцінюванню впливу місцевих опорів на гідравлічну енерговитратність поліетиленових газових мереж. Досліджено і проаналізовано практику проектування газових мереж. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження динаміки руху газу терморезисторними з'єднаннями поліетиленових трубопроводів та визначені коефіцієнти їх місцевих опорів. Визначено коефіцієнти еквівалентної довжини залежно від типу та кількості місцевих опорів на 1 км довжини газових мереж. Розроблені рекомендації з удосконалення розрахунків газових мереж із поліетиленових труб, удосконалення конструкції терморезисторних з'єднань та досліджено ефективність їх застосування. Розроблені аналітичні моделі нестационарних процесів у газових мережах із поліетиленових труб.

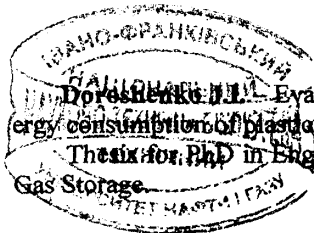
Результати дисертаційної роботи відображені у розробленому галузевому керівному документі ВАТ “Укргазпроект” “Комплексна галузева методика розрахунку газових мереж із поліетиленових і сталевих труб”.

Ключові слова: газові мережі, динаміка руху, терморезисторне з'єднання, поліетиленові трубопроводи, еквівалентна довжина, нестационарні процеси, муфта, сідловий трійник, терморезисторний трійник, коліно, редуційний перехідник, число Рейнольдса, математична модель, скінченно-об'ємний метод, рівняння Нав'є-Стокса.

ANNOTATION

Doroshenko Y.I. - Evaluation of the influence of local hydraulic resistance on the energy consumption of plastic gas networks. – Manuscript

The six for PhD in Engineering, specialty 05.15.13 – Pipeline Transportation, Oil and Gas Storage



Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. – Ivano-Frankivsk, 2010.

Dissertation is devoted to evaluating the impact of local resistance on the hydraulic energy consumption of plastic gas networks. Studied and analyzed the practice of design of gas networks. Theoretical and experimental studies of the dynamics of the gas connections of plastic pipe thermistors and their coefficients of local resistance. A coefficients of equivalent length, depending on the type and number of local resistance on the length of 1 km of gas networks. The recommendations to improve the calculation of the gas network of polyethylene pipes, improving the design thermistor connections and the efficiency of their application. Analytical models dissertation is devoted to evaluating the impact of local hydraulic resistance on the energy consumption of plastic gas networks. Studied and analyzed the practice of design of gas networks. Theoretical and experimental studies of the dynamics of the gas connections of plastic pipe thermistors and their coefficients of local resistance. A coefficients of equivalent length, depending on the type and number of local resistance on the length of 1 km of gas networks. The recommendations to improve the calculation of the gas network of polyethylene pipes, improving the design thermistor connections and the efficiency of their application. Analytical models of nonstationary processes in gas networks with polyethylene pipes.

The results of the thesis are reflected in the governing document is produced by OAO Ukrkgazproekt “Industrial complex method of calculation of gas networks of plastic and steel pipes”.

Keywords: gas network, the dynamics of movement, thermoresistive connection polyethylene piping equivalent length, nonstationary processes, coupling, tee saddle, thermistor tee, elbow, reduction adapter, the Reynolds number, mathematical model, finite-volume method, the equation Navier-Stokes equations.

АННОТАЦИЯ

Дорошенко Ю.И. – Оценка влияния местных сопротивлений на гидравлическую энергозатратность полиэтиленовых газовых сетей. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 - Трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища.

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. - Ивано-Франковск, 2010.

Диссертация посвящена оценке влияния местных сопротивлений на гидравлическую энергозатратность полиэтиленовых газовых сетей. На сегодняшний день это очень актуальное задание, поскольку новые газовые сети, а также реконструкция действующих систем газоснабжения выполняется в основном с использованием полиэтиленовых труб.

Проектирование, строительство и эксплуатация полиэтиленовых газовых сетей имеет ряд особенностей, которые не стали предметом научных исследований отечественных ученых и не нашли отображения в научной литературе. Особенностью структуры полиэтиленовых газовых сетей является большое количество соединительных деталей (фитингов), которые устанавливаются в местах поворота, отводов, смены диаметра, местах установки различной трубопроводной арматуры. С точки

зрения газовой динамики фитинги являются местными сопротивлениями. Они безусловно влияют на общее гидравлическое сопротивление газовых сетей.

Исследована и проанализирована практика проектирования газовых сетей.

Теоретические исследования динамики движения газа местными сопротивлениями полиэтиленовых трубопроводов позволили определить, что в терморезисторных соединениях наблюдается вихреобразование, присутствует реверсное движение газа, происходит отрывание потока от стенки терморезисторного соединения, что в свою очередь приводит к значительным потерям давления. Теоретически определены коэффициенты местных сопротивлений каждого терморезисторного соединения, адекватность чего подтверждена экспериментально. Экспериментально определено дополнительное деление турбулентной зоны и соответствующие переходные числа Рейнольдса и выведены математические зависимости для определения коэффициента местного сопротивления каждой зоны.

Проведены исследования влияния характера и количества местных сопротивлений на расчет газовых сетей из полиэтиленовых труб.

Определены коэффициенты эквивалентной длины в зависимости от типа и количества местных сопротивлений на 1 км длины газовых сетей (коэффициент может находиться в диапазоне от 1 до 2,9).

Предложены конструктивные направления уменьшения коэффициента местного сопротивления терморезисторных соединений полиэтиленовых трубопроводов. Теоретическими расчетами подтверждена эффективность применения усовершенствованных конструкций терморезисторных соединений (коэффициент местного сопротивления усовершенствованных конструкций уменьшается на 11,5-80%). Результаты проведенных исследований и разработанные усовершенствования конструкции терморезисторных соединений полиэтиленовых трубопроводов внедрены в ООО "Прикарпатская полимерная компания", что позволяет получить экономический эффект в размере 20 тыс. грн. в год при газификации одного населенного пункта на 2000 жителей.

Проведено моделирование нестационарных процессов в газовых сетях из полиэтиленовых труб. При определенных коэффициентах местных сопротивлений и динамики газового потока в них обнаружен эффект "старения" газовой сети и влияние местных сопротивлений на протекание аварийных процессов в газовых сетях, рассчитано необходимое время функционирования газовой сети при отключении участков. Предложены оптимальные пути восстановления стабильной работы газовой сети после аварийного или планового ремонта.

Результаты диссертационной работы отражены в разработанном отраслевом руководящем документе ОАО "Укргазпроект" "Комплексная отраслевая методика расчета газовых сетей из полиэтиленовых и стальных труб".

Ключевые слова: газовые сети, динамика движения, терморезисторные соединения, полиэтиленовые трубопроводы, эквивалентная длина, нестационарные процессы, муфта, седловой тройник, терморезисторный тройник, колено, редуцирующий переходник, число Рейнольдса, математическая модель, конечно-объемный метод, уравнения Навье-Стокса.