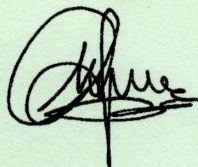


622.691.4(043)
М48

Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу

МЕЛЬНИЧЕНКО ЮРІЙ ГРИМИСЛАВОВИЧ



УДК 622.691.4 (043)
М48

**ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ПРОЦЕСІВ
В СКЛАДНИХ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ
ПРИ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м. Івано-Франківськ-2010

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

Тимків Дмитро Федорович

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри інформатики
м. Івано-Франківськ

Офіційні опоненти:

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

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

Захист відбуде

спеціалізованої

ному університ

76019, Україна,

Із дисертацій

Франківського

Україна, м. Іван

Автореферат ро

Вчений секретар

вченої ради Д 20

к.т.н., доцент

льному техніч-

ліотеці Івано-

дресою: 76019,





ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Україна є передовою державою в світовому співтоваристві за обсягами транспортування природного газу як внутрідержавними газопроводами, так і транснаціональними магістралями. Основним функціональним призначенням української газотранспортної системи на сьогодні є безперервне постачання природним газом усіх споживачів у межах країни та безперервне транспортування природного газу Російських та Середньоазійських родовищ до країн Західної та Центральної Європи. Тому проблеми трубопровідного транспорту газу правомірно вважати одними з першочергових для народного господарства нашої держави.

Враховуючи вік вітчизняної газотранспортної системи, з кожним роком частота аварійних відмов лінійної частини зростає. Незважаючи на те, що на сучасному етапі розвитку науки і техніки в напрямку підвищення ефективності діагностичних, моніторингових та планово-попереджувальних заходів на магістральних газопроводах досягнуто значних успіхів, виключити аварійні відмови повністю не вдається. Оскільки магістральні газопроводи характеризуються значною протяжністю по довжині, їх роботі притаманний високий ступінь інерційності в часі. Навіть після виявлення аварійної ситуації робота магістрального газопроводу не припиняється раптово. Тому виділено окремо аварійні режими експлуатації магістральних газопроводів, які протікають від моменту виникнення несправності або відмови технологічного обладнання до повної стабілізації параметрів газового потоку після виконання ремонтно-відновлювальних робіт та введення аварійної ділянки газопроводу в експлуатацію.

Відносно незначна тривалість в часі та нестационарний характер аварійних режимів роботи магістральних газопроводів зумовили той факт, що досліджень в цьому напрямку проведено небагато. В той же час цілий ряд відмов технологічного обладнання магістральних газопроводів супроводжується значним викидами газу в атмосферу, що несе в собі як економічні, так і екологічні збитки для держави та людства в цілому. Тому питання оперативного виявлення аварійних відмов на лінійній частині за будь-яких умов проходження траси газопроводу не втрачають актуальності.

Враховуючи той факт, що газ стисливий, вплив аварійного витoku на параметри потоку для газопроводів не є суттєвим. Тому в сучасній практиці експлуатації магістральних газопроводів перевага надається методам моніторингу за станом газопроводу ззовні. Однак, зважаючи на недоліки таких методів контролю, а саме – непостійність контролю в часі, великі затрати для кожної серії спостережень та інші, залишається актуальною проблема побудови ефективного методу контролю за безаварійністю роботи магістральних газопроводів у режимі реального часу.

З іншого боку, за наявності оперативного переданої та відповідно опрацьованої інформації про режимні параметри магістральних газопроводів відкривається можливість економії втрат газу під час аварійної відмови технологічного обладнання (коли управлінські рішення необхідно приймати максимально швидко) шляхом раціона-

льного керування технологічними переключеннями запірної арматури. Однак рішення щодо таких нетрадиційних переключень запірної арматури під час аварійних відмов повинні спиратись на теоретичну базу, яка б регламентувала такі маніпулювання запірною арматурою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках програм НАК «Нафтогаз України» згідно розпоряджень Кабінету міністрів України «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» та «Про схвалення Концепції розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009-2015 роки».

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення технологічних процесів під час проведення аварійно-відновлювальних ремонтів лінійних ділянок складних газотранспортних систем.

Указана мета досягається шляхом реалізації наступних задач:

- удосконалення математичної моделі лінійних ділянок газопроводу та агрегативно-імітаційного методу розрахунку складних газотранспортних систем;
- виявлення аварійних витоків із магістральних газопроводів із пересіченим профілем траси з використанням штатного вимірювального обладнання на основі адаптивної математичної моделі;
- удосконалення технології проведення підготовчих робіт перед виконанням аварійно-відновлювального ремонту лінійних ділянок складних газотранспортних систем;
- дослідження впливу профілю траси газопроводу на характер нестационарного процесу в період випорожнення ділянки газопроводу;
- удосконалення технології випробування на міцність і герметичність ділянок складної газотранспортної системи з пересіченим профілем траси після виконання аварійно-відновлювального ремонту;
- експериментальні дослідження нестационарних процесів у складних газотранспортних системах.

Об'єкт дослідження. Складні газотранспортні системи з пересіченим профілем траси.

Предмет дослідження. Нестационарні процеси складних газотранспортних систем із пересіченим профілем траси.

Методи дослідження. Аналітичні та числові методи побудови і реалізації нестационарних процесів у складних газотранспортних системах під час проведення аварійно-відновлювальних ремонтів. Експериментальні методи оцінки точності реалізації математичних моделей.

Положення, що виносяться на захист. Закономірності протікання нестационарних процесів у складних газотранспортних системах, пов'язаних із проведенням аварійно-відновлювальних ремонтів.

Наукова новизна отриманих результатів:

- уперше запропоновано в процесі реалізації нестационарної моделі руху газу на ділянці газопроводу методом кінцевих різниць для апроксимації граничної умови Неймана використати центрально-різницеву апроксимацію закону збереження маси;
- удосконалено агрегативно-імітаційний метод розрахунку складних газотранспортних систем, що дозволяє проводити розрахунки параметрів складних багаторівневих газотранспортних систем;
- уперше встановлено можливість економії аварійних втрат газу на магістральних газопроводах з складною будовою шляхом раціонального керування запірною арматурою;
- уперше обґрунтовано можливість здійснення випорожнення ділянки складного газопроводу з пересіченим профілем траси для забезпечення мінімально допустимого тиску.

Практичні значення отриманих результатів. На основі результатів проведених досліджень створено галузеву методику «Удосконалення методів керування експлуатаційними режимами газотранспортних систем в умовах нерівномірного завантаження», впроваджено на газотранспортних підприємствах ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України», використання якої дозволяє отримати економічний ефект у розмірі 68 тис. грн.

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

- розроблено метод апроксимації граничних умов під час розрахунку нестационарного газового потоку в магістральних газопроводах [1];
- здійснено обґрунтування вибору граничних умов для розрахунку параметрів газового потоку на ділянці газопроводу в умовах неповної вихідної інформації [2];
- виявлено можливості економії втрат газу під час виведення в ремонт ділянок складних магістральних газопроводів [3,9];
- приведено особливості випорожнення ділянок магістральних газопроводів із пересіченим профілем траси [4,8,11];
- досліджено закономірності перебігу нестационарних процесів під час пневматичних випробувань ділянок магістральних газопроводів, на яких проводились ремонтно-відновлювальні роботи [10];
- запропоновано для обробки даних первинного перетворювача ультразвукового витратоміра використати мікропроцесор [7].

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

- Науково-технічній конференції «Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- энергосбережении» (Одеса, 2007 р.);
- Міжнародній науково-технічній конференції «Міцність та надійність магістральних трубопроводів» (Київ, 2008 р.);

- Міжнародній науково-технічній конференції «Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці» «ІФНТУНГ – 40» (Івано-Франківськ, 2007 р.);
- Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії» (Івано-Франківськ, 2008 р.);
- Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи» (Івано-Франківськ, 2009).

У повному обсязі результати досліджень доповідались і обговорювались на засіданні кафедри транспорту та зберігання нафти і газу та науковому семінарі факультету нафтогазопроводів Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (м. Івано-Франківськ, 2010 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 наукових праць, із них 6 у фахових наукових виданнях і один патент на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 110 найменувань, 35 рисунків та 3 додатків. Основний зміст роботи викладено на 145 сторінках машинного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета і задачі досліджень, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Приведена інформація про апробацію та впровадження результатів роботи, розкритий особистий внесок автора у вирішення поставлених задач, вказана кількість наукових публікацій.

У **першому розділі** розроблено класифікацію аварійних режимів газотранспортних систем, приведено основні поняття, якими характеризуються аварійні режими, структура типового аварійного режиму.

У загальному, аварійні режими поділяють на три етапи:

- етап виявлення несправності та зупинки транспортування газу;
- етап випорожнення газопроводу та здійснення ремонтних робіт;
- етап заповнення та випробування відремонтованої ділянки.

Для виявлення аварійних режимів, викликаних утворенням аварійних витікань газу з газопроводу, застосовуються різні методи. Їх можна поділити на дві групи:

- методи, які базуються на використанні спеціалізованого обладнання;
- методи обробки даних штатного вимірювального обладнання газотранспортних підприємств.

Контроль за наявністю витоків та розривів на вітчизняних магістральних газопроводах здійснюється шляхом встановлення автоматів аварійного закриття кранів на лінійні запірні вузли та візуального спостереження обхідниками й диспетчерами за станом лінійної частини та показами вимірювального обладнання. Пріоритетним

напрямок розвитку вітчизняного газотранспортного сектору промисловості є обладнання найважливіших магістральних газопроводів сучасними засобами телемеханіки та телеметрії. Таким чином, створюються сприятливі умови для здійснення контролю за цілісністю лінійної частини в режимі реального часу з використанням штатного вимірювального обладнання газотранспортних підприємств. Такий контроль здійснюється шляхом порівняння безаварійних режимних параметрів газотранспортних систем із відповідними даними вимірювального обладнання. Безаварійні режимні параметри можна отримати виключно шляхом гідравлічного розрахунку процесу транспортування газу. Враховуючи той факт, що більшу частину свого часу роботи будь-яка газотранспортна система працює в нестационарному режимі, теоретичні значення параметрів безаварійних режимів необхідно обчислювати шляхом використання моделей нестационарних газодинамічних процесів. При цьому необхідно здійснити формулювання моделі газодинамічного процесу та вибір методу розрахунку параметрів нестационарних режимів роботи газотранспортних систем, дослідити його точність, чутливість, межі використання.

Методи розрахунку параметрів нестационарних неізотермічних режимів роботи магістральних газопроводів пройшли тривалий шлях розвитку. Тут варто відзначити праці Чарного І.А., Яковлева Є.І., Білокопя Н.І., Бобровського С.А., Сухарева М.П. та ін. Загальноприйнятим підходом щодо розв'язування рівнянь руху реального газу є використання числових методів. Це дозволяє врахувати не лінійність рівнянь. Одним із перших числових методів розв'язування рівнянь руху рідин і газів у магістральних газопроводах був метод характеристик. Даний метод є незручний, зокрема при локальному згущенні сітки біля фронту різкої нестационарності. Окрім того, він вимагає додаткових ітерацій для уточнення напрямків характеристик. Сучасним підходом для вирішення нелінійних диференціальних рівнянь у часткових похідних є використання сіткових методів. Основним недоліками цих методів є відсутність чіткого обґрунтування дискретизації простору та часу та імовірність зростання похибок методів, зокрема немонотонної числового рішення, внаслідок обмеженості розрядності обчислювальних машин. Тому для оцінки адекватності числових методів необхідно провести експериментальні дослідження нестационарних процесів.

Нестационарні режими, викликані наявністю витoku на ділянці магістрального газопроводу, досліджувались такими вченими як Жидкова М.А., Сулейманов В.А., Панкратов В.С., Селезньов В.Е. та інші. Параметри газу на виході витoku, подібно до параметрів газу на виході з продувної свічі, визначають за формулами Сен-Венана-Ванцеля. При цьому для реальних газів у рівняння Сен-Венана-Ванцеля додатково вводиться коефіцієнт витрати. Немає одностайної думки щодо фізичних величин та явищ, які враховуються даним коефіцієнтом, тому його значення визначають за експериментальними даними. Тому для підвищення ефективності використання методів моделювання нестационарних експлуатаційних режимів роботи газотранспортних систем із метою виявлення аварійних відхилень вимірюваних параметрів від змодельованих необхідно провести додаткові наукові дослідження щодо оцінки точності результатів, отриманих за допомогою моделей.

Вибір технології випорожнення аварійної ділянки магістрального газопроводу для здійснення ремонтно-відновлювальних робіт залежить від таких чинників: інтенсивність витоку, можливість забезпечення споживачів у випадку відсічення аварійної ділянки, можливість перепуску газу з дефектної ділянки споживачам або в суміжні нитки магістральних газопроводів. Для проведення ефективного перепуску надлишку газу з аварійної в суміжні ділянки необхідно:

- знати, за яким критерієм можна оцінити ефективність проведення перепуску газу з однієї ділянки в іншу;
- вміти оперативно та достовірно визначити значення такого критерію.

Крім того, під час випускання газу в атмосферу через продувні свічі з аварійної ділянки з пересіченим профілем, особливо в діапазоні значень тиску в трубопроводі близьких до атмосферного, існує імовірність потрапляння повітря в порожнину газопроводу. Для запобігання цьому необхідно вивчити описаний газодинамічний процес та розробити рекомендації щодо технології проведення випорожнення ділянки.

Під час пневматичних випробувань відремонтованих ділянок визначальним параметром є ступінь пониження тиску протягом визначеного часу. Згідно вимог до технології проведення робіт, випробування правомірно проводити після стабілізації температури газу на ділянці. Таким чином, для підвищення ефективності планування пневматичних випробувань ділянок магістральних газопроводів необхідно проводити прогнозування термодинамічних процесів.

Вирішення сформульованих задач потребує проведення експериментальних досліджень аварійних режимів та їх аналізу за допомогою математичних моделей.

У другому розділі вдосконалено різницеву модель рівнянь руху газу з метою зниження немонотонності числового рішення. Модель системи рівнянь руху газу пропонується в наступному виді:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho v)}{\partial x}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho v^2)}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial x} - \rho v \frac{\xi |v|}{2D} - \rho g \frac{dy}{dx}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(vT)}{\partial x} \right) + C_p D_j \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(vp)}{\partial x} \right) = \\ = - \frac{\partial p}{\partial t} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial \lambda}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial \lambda}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{4\alpha_1}{D} (T_{cm} - T); \end{aligned} \quad (3)$$

$$p = z\rho RT; \quad (4)$$

$$C_{cm} \rho_{cm} \frac{\partial T_{cm}}{\partial t} = \lambda_{cm} \frac{\partial^2 T_{cm}}{\partial x^2} + \frac{\pi D \alpha_1}{\pi D_j^2 / 4} (T - T_{cm}) + \frac{\pi D_j \alpha_2}{\pi D_j^2 / 4} (T_{oc} - T_{cm}); \quad (5)$$

де ρ, p, T, v, M – режимні параметри газу, а саме: густина, тиск, температура газу, швидкість та масова витрата в газопроводі;

x, y, t – лінійна, висотна та часова координати відповідно;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору;

g – прискорення вільного падіння;

C_p, D, λ, z, R – термодинамічні характеристики газу: ізобарна теплоємність, коефіцієнт Джоуля-Томпсона, теплопровідність, коефіцієнт стисливості та газова постійна;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від газу до внутрішньої поверхні стінки газопроводу;

D, D_3 – внутрішній та зовнішній діаметр газопроводу;

T_{cm} – температура в нескінченно малому об'ємі труби;

$C_{cm}, \rho_{cm}, \lambda_{cm}$ – теплоємність, густина та теплопровідність сталі стінки газопроводу;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стінки газопроводу до оточуючого газопровід ґрунту;

T_{oc} – температура оточуючого газопровід середовища.

Для розв'язування даної системи рівнянь прийнято наступні спрощення:

- здійснено квазілінеаризацію системи шляхом застосування методу «предиктор-коректор»;
- систему рівнянь зведено до ізотермічного виду на стадії «предиктор», а неізотермічність враховано на стадії «коректор»;
- систему лінійних диференційних рівнянь у часткових похідних апроксимовано за допомогою різницевого аналогу з другим порядком апроксимації по поздовжній координаті та першим порядком апроксимації по часу.

Після того на стадії «предиктор» отримано систему алгебраїчних рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{M(x_i, t_{j+1}) - M(x_i, t_j)}{\Delta t_j} = -v(x_i, t_{j+1}) \frac{M(x_{i+1}, t_{j+1}) - M(x_{i-1}, t_{j+1})}{(\Delta x_{i-1} + \Delta x_i)} - \frac{\pi D^2}{4} \times \\ \times \frac{p(x_{i+1}, t_j) - p(x_{i-1}, t_j)}{(\Delta x_{i-1} + \Delta x_i)} - \frac{\xi |v(x_i, t_{j+1})|}{2D} M(x_i, t_{j+1}) - g \frac{\pi D^2}{4} \frac{1}{2} \times \\ \times \left[\frac{\rho(x_{i-1}, t_{j+1}) + \rho(x_i, t_{j+1})(z_i - z_{i-1})}{2} + \frac{\rho(x_i, t_{j+1}) + \rho(x_{i+1}, t_{j+1})(z_{i+1} - z_i)}{2} \right], \\ \frac{p(x_i, t_{j+1}) - p(x_i, t_j)}{\Delta t_j} = - \frac{4}{\pi D^2} \frac{\partial \rho / \partial p}{\Delta x_{i-1} + \Delta x_i} \frac{M(x_{i+1}, t_{j+1}) - M(x_{i-1}, t_{j+1})}{\Delta x} \end{array} \right. \quad (6)$$

яку розв'язуємо методом прогонки. В результаті отримаємо системи n алгебраїчних рівнянь відносно n значень масової витрати

$$-B_{1i} M(x_{i+1}, t_{j+1}) + B_{2i} M(x_i, t_{j+1}) - B_{3i} M(x_{i-1}, t_{j+1}) = B_{4i}, \quad (7)$$

де $i=1 \dots n$; n – кількість точок дискретизації лінійного простору;

$B_{1..4i}$ – сталі коефіцієнти.

Для граничної умови у виді значення тиску величину масової витрати в цій граничній точці ділянки газопроводу визначено за законом збереження маси (1), записаного для цієї точки. Для різницевої апроксимації закону збереження маси в гра-

ничній точці з другим порядком точності по лінійній координаті необхідно ввести уявну точку лінійного простору, значення масової витрати в якій у першому наближенні необхідно визначати за формулою:

$$M(x_0, t_{j+1}) = \left[\frac{(M(x_2, t_{j+1}) - M(x_2, t_{j-1}))}{\Delta x_2 \Delta x_1} \frac{(M(x_2, t_{j+1}) - M(x_1, t_{j+1}))}{\Delta x_1^2} - \frac{(M(x_2, t_{j+1}) - M(x_1, t_{j+1}))}{\Delta x_1 \Delta x_0} \right] \Delta x_0^2 + M(x_1, t_{j+1}), \quad (8)$$

де $\Delta x_{0,1,2}$ - дискретизація лінійного простору між точками: уявною точкою 0 та реальними точками 1, 2 і 3. Підвищення порядку апроксимації закону збереження маси значно знижує немонотонність числового рішення під час різких сачків значень граничних умов.

Для виявлення аварійних відхилень вимірних параметрів газотранспортних систем від змодельованих останні повинні бути розраховані з підвищеною точністю. Для цього необхідно провести ідентифікацію моделі тертя газу об стінки трубопроводу за даними вимірального обладнання. Існує декілька підходів щодо здійснення корегування моделі тертя газу в трубопроводі. Загальноприйнятим вважається введення поняття гідравлічної ефективності, яка рівна відношенню вимірної витрати в газопроводі до розрахованої за формулами гідравлічного розрахунку стаціонарного потоку. Іншим підходом є ідентифікація самого коефіцієнта гідравлічного опору. На відміну від гідравлічної ефективності, ідентифікація коефіцієнту гідравлічного опору здійснюється за результатами розрахунку нестационарного режиму роботи досліджуваного газопроводу. Однак, у разі різко виражених перехідних режимів експлуатації газопроводів припущення щодо незмінності значення коефіцієнту гідравлічного опору може призвести до значних похибок між обчисленими та вимірними параметрами газового потоку та отримання хибного сигналу щодо аварійної ситуації на лінійній частині. Похибка зростає за умови великих інтервалів часу між моментами ідентифікації коефіцієнту гідравлічного опору. Таким чином, необхідно використовувати гідравлічну ефективність для уточнення моделей нестационарного режиму роботи газопроводу шляхом введення цієї величини в рівняння (2)

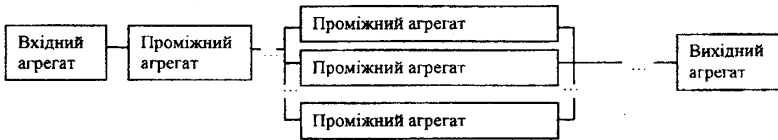
$$\frac{\partial M}{\partial t} = -w \frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial P}{\partial x} - E \frac{E_1 |w|}{2D} M - \rho g \frac{dz}{dx}, \quad (8)$$

де E – гідравлічна ефективність.

Для моделювання роботи газотранспортної системи складної конфігурації удосконалено агрегативно-імітаційний метод ув'язки елементарних частин складної системи між собою, який відображено на рис.1.

У метод додатково введено нові типи агрегатів: підкачування (рис.1, А), відгалуження (рис.1, Б) та розгалуження (рис.1, В). Ці агрегати є підсистемами складної системи. Введення нових агрегатів дає можливість здійснювати розрахунок як стаціонарних, так і нестационарних газодинамічних процесів у газотранспортних системах включно з багаторівневою конфігурацією.

- можливості існуючого агрегативно-імітаційного методу:



- можливості удосконаленого агрегативно-імітаційного методу:

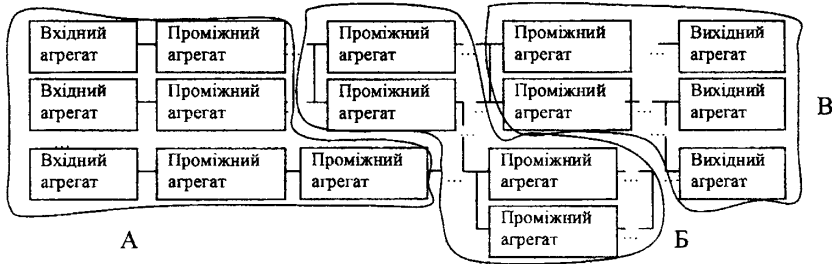


Рис. 1. Удосконалення агрегативно-імітаційного методу:
А – підкачування; Б – розгалуження; В – відгалуження

У третьому розділі досліджено процес витікання газу з трубопроводу через аварійний витік. Дослідження проводились із метою оцінки ефективності виявлення аварійних витоків методом моделювання в режимі реального часу за наступних умов: трубопровід DN 1400 мм і пункти вимірювання тиску знаходяться на максимально допустимих відстанях від місця аварії. Для визначення коефіцієнту витрати через аварійний отвір у газопроводі використано програмний комплекс Ansys CFX. Методом проб та помилок встановлено, що для такої ділянки газопроводу мінімальний еквівалентний діаметр витіку, який може бути локалізований автоматами аварійного закриття кранів, установленими в пунктах вимірювання тиску, становить 600 мм. Локалізація аварійного витіку методом моделювання в режимі реального часу, алгоритм якого зображено на рис. 2, дозволяє виявляти для описаного газопроводу витіки з еквівалентним діаметром від 80 мм та більше.

Для дослідження впливу профілю траси на процес витікання газу з магістрального газопроводу для здійснення ремонтно-відновлювальних робіт розглянуто ділянку газопроводу Долина-Ужгород-Держжордон-ІІ DN 1400 довжиною 10 км. Перепад висот між лінійними запірними вузлами ділянки складає 380 м. Проведено порівняння результатів досліджень, проведених для цієї та аналогічної ділянки з нульовим перепадом висот між краями ділянки (рис. 3).

Для виявлення можливостей економії газу, який випускається в атмосферу під час виконання ремонтних робіт, розглянуто систему двониткового магістрального газопроводу. Під час виведення ділянки в ремонт здійснювалось випорожнення ділянки через вихідний кран при закритому вхідному (рис. 4). Випорожнення

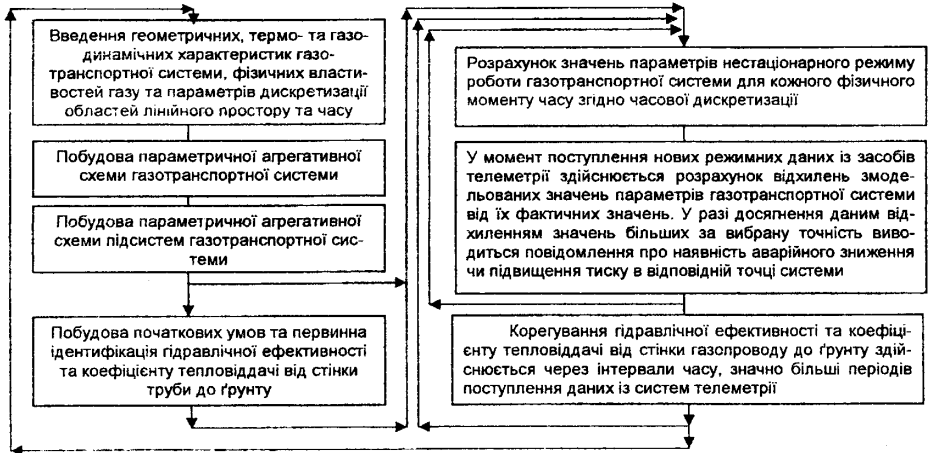


Рис. 2. Алгоритм контролю безаварійної роботи складної ГТС за даними штатного вимірювального обладнання

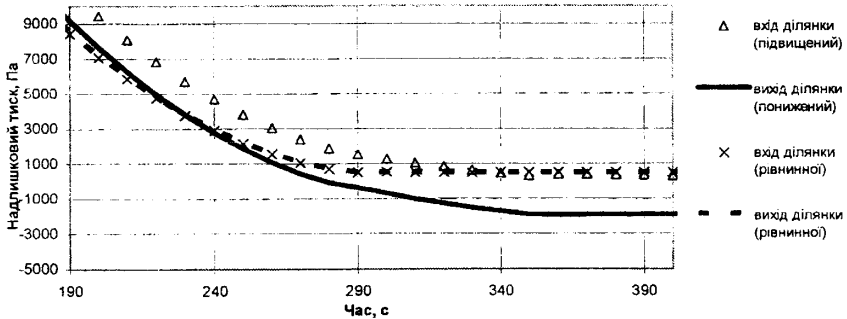


Рис. 3. Результати моделювання процесів випорожнення ділянки з рівнинним та пересіченим профілем траси

проводилось до моменту переходу газопроводу в новий стаціонарний режим експлуатації.

Для дослідження впливу профілю траси на динаміку зміни параметрів газового потоку під час пневматичних випробувань ділянок магістральних газопроводів розглянуто процес пониження тиску на ділянці від тиску випробування на міцність до тиску випробування на герметичність (рис. 5). Визначено тривалість стабілізації температури після пониження тиску на ділянці довжиною 16 км (рис. 6). Порівняння результатів розрахунку з літературними даними показало розбіжність тривалості стабілізації температури на рівні 3,3 %.

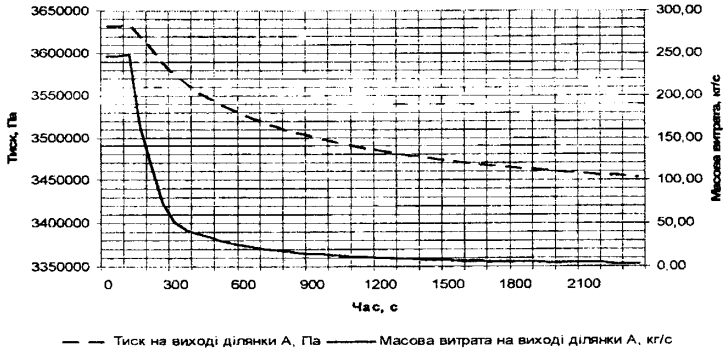


Рис. 4. Зміна параметрів газового потоку біля вихідного крану ділянки

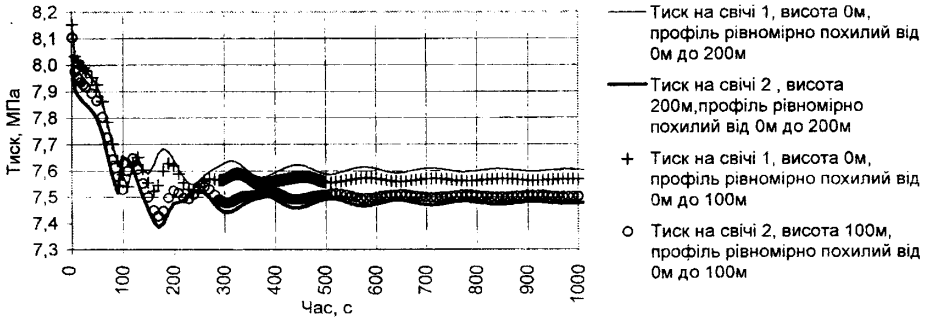


Рис.5. Вплив перепаду висот між входом і виходом ділянки на нестационарні коливання тиску

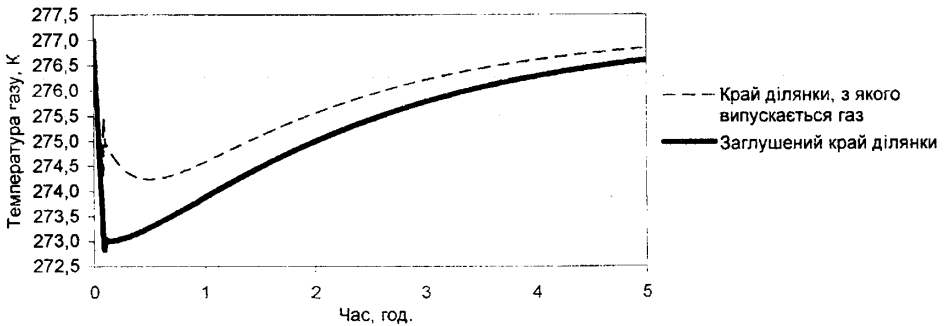


Рис.6. Визначення тривалості стабілізації температури під час пневматичних випробувань ділянки газопроводу

За результатами обчислювального експерименту встановлено, що моделювання в режимі реального часу дозволяє виявляти аварійні витoki, які є на порядок меншими від мінімально допустимих розмірів витоків, котрі виявляються автоматами аварійного закриття кранів.

Встановлено, що для ділянки газопроводу з пересіченим профілем траси зменшення тиску в діапазоні допустимих для виконання вогневих робіт значень відбувається до 20 % швидше, ніж на рівнинному газопроводі.

Запропоновано в якості критерію оцінки ефективності випорожнення ділянки складного газопроводу перед виведенням її з експлуатації використати різницю тисків на краях ділянки. Встановлено, що методи стравлення надлишку газу залежать від положення аварійної ділянки на перегоні відносно суміжних компресорних станцій. При цьому виявлено, що для примикаючих до компресорних станцій ділянок необхідно враховувати можливість виникнення різкого збурення газового потоку, що може призвести до аварійної зупинки компресорної станції.

Отримані закономірності динаміки зміни тиску під час стравлення частини газу з випробуваної ділянки з пересіченим профілем траси в атмосферу дозволяють зробити висновок, що тривалість коливань тиску не залежить від характеру пересіченості профілю ділянки, однак значно залежить від перепаду висот між краями ділянки.

У четвертому розділі за приведеним алгоритмом контролю в режимі реального часу проведено імітацію роботи газотранспортної системи в межах УМГ Черкаситрансгаз за даними диспетчерської служби протягом 2-х діб роботи (рис. 7).

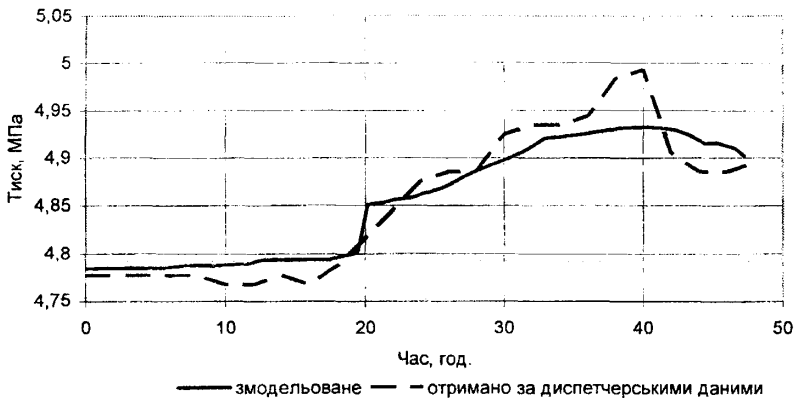


Рис. 7. Порівняння вимірних та розрахованих значень параметрів газового потоку в характерних точках ГТС

Максимальне розходження вимірних і змодельованих даних складає 0,06 МПа при допустимому значенні 0,12 МПа.

Проведені експериментальні вимірювання динаміки зміни тиску в посудині об'ємом 23 м^3 , заповненої природним газом, у процесі її випорожнення через отвір діаметром $0,0108 \text{ м}$ (рис. 8). Вимірювання проводились зразковим манометром з шкалою від 0 до $0,25 \text{ МПа}$, класом точності $0,5$ та ціною поділки $0,00125 \text{ МПа}$. Покази манометрів записувались за допомогою цифрових відеокамер. За результатами експерименту виявлено, що формулу Сен-Венана-Ванцеля правомірно використовувати для діапазону надлишкового тиску від $0,25 \text{ МПа}$ до $0,01 \text{ МПа}$ з коефіцієнтом витрати рівним $0,42$.

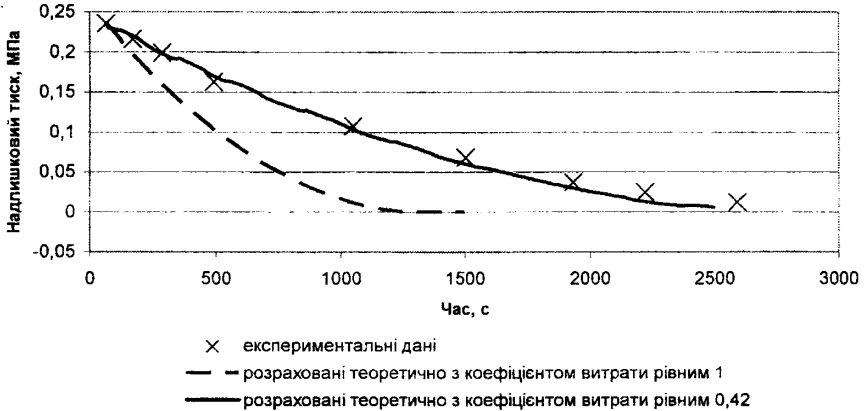


Рис. 8. Результати експериментального дослідження випорожнення посудини під тиском

Проведені натурні вимірювання динаміки зміни тиску в процесі випорожнення ділянки магістрального газопроводу Долина-Пасічна через продувну свічу для виконання на ділянці вогневих робіт (рис.9). Випорожнення проводилось на ділянці між лінійними кранами 18 і 15 шляхом відкриття свічного крану 17Б. Довжина ділянки – 11 км . Типорозмір труби продувної свічі – $150 \times 7 \text{ мм}$. Довжина – $5,0 \text{ м}$. На свічі встановлений кран пробкового типу $\text{DN } 150 \text{ мм PN } 6,4 \text{ МПа}$.

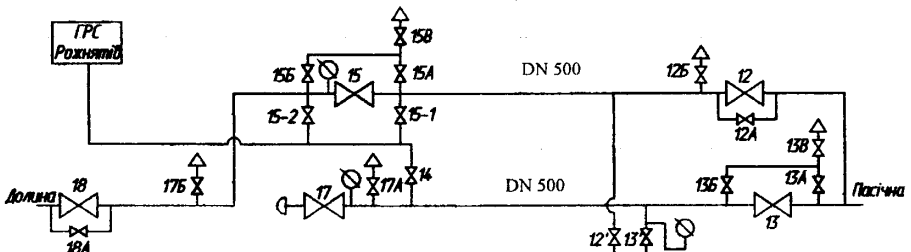


Рис. 9. Технологічна схема частини магістрального газопроводу Долина-Пасічна, на якому проводилось випорожнення ділянки

У результаті проведення натурального дослідження процесу витікання газу з трубопроводу через продувні свічі та співставлення результатів натурних досліджень з результатами моделювання встановлено, що результати моделі найкраще повторюють натурний експеримент за умови, що коефіцієнт витрати становить 0,35.

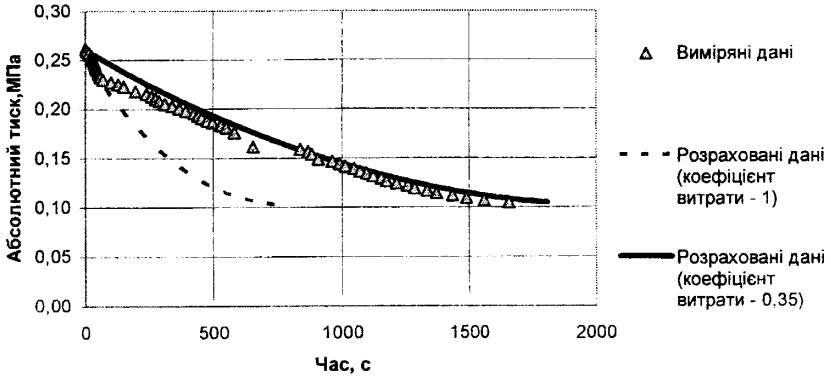


Рис. 10. Порівняння експериментальної та розрахункової кривих зміни тиску під час випорожнення ділянки МГ Долина-Пасічна

В результаті порівняння натурних вимірювань з результатами моделювання похибка максимального відхилення склала 1,2 %. Вказане відхилення знаходиться в межах точності штатного вимірювального обладнання газотранспортних підприємств. Таким чином, модель дозволяє виявляти аварійні відхилення параметрів газотранспортних систем від значень, які отримані за допомогою моделі з припущенням, що система працює без аварійних відхилень.

За отриманими експериментальними даними виявлено, що значення коефіцієнту витрати в діапазоні надлишкових тисків в трубопроводі від 0,25 до 0,01 МПа є меншим від 0,5, що дозволяє отримати точніші результати під час прогнозування аварійних режимів роботи газотранспортних систем, зокрема під час підготовчих робіт при аварійно-відновлювальних ремонтах.

ВИСНОВКИ

На основі виконаних комплексних теоретичних й експериментальних досліджень вирішено важливу наукову задачу підвищення ефективності виявлення та зниження витрат ресурсів під час перебігу аварійних режимів роботи складних газотранспортних систем із пересіченим профілем траси.

При цьому отримані наступні основні результати:

1. Удосконалено математичну модель нестационарного газового потоку для ділянки простого газопроводу, реалізовану на основі різницевого методу з неявною схемою розбиття шляхом підвищення порядку апроксимації умови Неймана. Запро-

поновано удосконалений агрегативно-імітаційний метод реалізації моделі для умов довільної конфігурації та довільного задання граничних умов.

2. Запропоновано діагностичну методику виявлення аварійних витоків із газопроводу, яка базується на використанні адаптивної математичної моделі нестационарних процесів, викликаних появою малого витoku газу з газопроводу. Її використання дозволить виявляти аварійні витoki на порядок менші тих, що можуть бути локалізовані автоматами аварійного закриття кранів.

3. У процесі стравлювання газу з аварійної ділянки складної газотранспортної системи запропоновано перепустити частину газу в діючий газопровід шляхом зміни технологічної схеми, що дозволить досягнути економії до 35 % стравленого газу.

4. Для газотранспортної системи з пересіченим профілем траси темп стравлювання газу залежить від просторового положення продувної свічі та практично не залежить від її гідравлічного опору. Після досягнення надлишковим тиском у ділянці менше 0,06 МПа подальше випорожнення слід проводити тільки через свічу, що знаходиться на найвищій геодезичній позначці.

5. На основі математичного моделювання нестационарних процесів, які протікають у складних газотранспортних системах, при проведенні випробувань на міцність і герметичність відновленої ділянки встановлено часові критерії змін технологічної схеми системи.

6. Із метою апробації результатів реалізації математичних моделей проведені експериментальні дослідження нестационарних процесів у реальних газопроводах, результати яких вказують на адекватність моделей. На основі проведених досліджень створено методику «Удосконалення методів керування експлуатаційними режимами газотранспортних систем в умовах нерівномірного завантаження», яка впроваджена в практику експлуатації газопроводів ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України». Очікуваний економічний ефект від впровадження методики у виробництво на УМГ «Прикарпаттрансгаз» склав 68 тис. грн.

Основний зміст дисертаційної роботи опубліковано у таких працях:

1. Мельниченко Ю. Г. Особливості розв'язування крайової задачі при розрахунку нестационарних неізотермічних потоків в магістральних газопроводах / Ю.Г. Мельниченко, Д.Ф.Тимків // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007 – 1(22). - С. 27-29.

2. Мельниченко Ю. Г. Аналіз нестационарних газодинамічних процесів при перехідних режимах експлуатації газопроводів / Ю.Г.Мельниченко // Нафтогазова енергетика. – 2007. – №3(4). - С. 25-30.

3. Мельниченко Ю.Г. Нестационарні процеси під час часткового перекриття ділянки складного газопроводу / Ю.Г.Мельниченко // Нафтова і газова промисловість. – 2008. - № 4. – С. 46-48.

4. Мельниченко Ю.Г. Розрахунок тривалості процесу випорожнення ділянки газопроводу з пересіченням профілем траси / Ю.Г.Мельниченко // Нафтогазова енергетика. - №2(7) – 2008. – С. 20-23.

5. Тимків Д.Ф. Удосконалення агрегативної моделі складних газотранспортних систем з метою аналізу багаторівневих складних газопровідних мереж / Д.Ф.Тимків, Ю.Г.Мельниченко // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2010. – 1(23). – С. 96-100.

6. Мельниченко Ю.Г. Закономірності перебігу нестационарних процесів під час експлуатації газотранспортних систем в аварійних режимах / Ю.Г.Мельниченко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010 – 1(34). – С.144-148.

7. Пат. 40819 Україна, МПК (2009) G 01 F 1/66. Ультразвуковий витратомір / Ю.Г. Мельниченко, І.З. Лютак, І.Є Дзюргалюк, І.В. Вульчин (UA). – № u200813781; заявл. 01.12.2008 ; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.

8. Технологія випорожнення ділянок магістрального газопроводу з перепадом геодезичних позначок.: Тези допов. Міжнародної науково-технічної конференції [«Міцність та надійність магістральних газопроводів»], (м. Київ, 5-7.06.2008) / Ін-т проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України. - К.:НАН України, 2008. – 162 с.

9. Методологічні основи функціонування систем автоматизованого контролю цілісності магістральних газопроводів в режимі реального часу: Матеріали науково-технічної конференції [“Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении”], (г. Одесса, 11-12 октября 2007 г.) / Одесский национальный политехнический университет – Киев: АТМ України, 2007. – 140 с.

10. Розрахунок часу стабілізації тиску під час проведення випробувань ділянки магістрального газопроводу: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених [«Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії»], (м. Івано-Франківськ, 16-20 вересня 2008 р.) / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ: Факел, 2008 – 70 с.

11. Закономірності зміни значень параметрів газотранспортних систем в результаті утворення аварійного потоку. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих учених [«Нафтогазова енергетика. Проблеми та перспективи»], (Івано-Франківськ, 20-23 жовтня 2009 р.) / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ: Факел, 2009 – 132 с.

АНОТАЦІЯ

Мельниченко Ю.Г. Прогнозування нестационарних процесів в складних газотранспортних системах при аварійних ситуаціях. – 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.

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності виявлення аварійних витоків газу, скорочення втрат газу під час виведення ділянки газопроводу в ре-

монт та підвищення ефективності планування пневматичних випробувань відремонтованих ділянок.

Удосконалено різницеву модель нестационарного неізотермічного потоку газу на ділянці газопроводу. Модифіковано агрегативно-імітаційний метод розрахунку газотранспортних систем довільної конфігурації. Досліджено процес витікання газу через отвір в газопроводі. На основі отриманих закономірностей обґрунтовано можливість здійснення контролю за безаварійністю роботи газопроводу за даними математичної моделі. Визначено область застосування даного методу контролю. Обґрунтовано здійснення випорожнення ділянок газопроводу з пересіченим профілем траси через усі доступні продувні свічі. Доведено існування можливості економії аварійних втрат газу на магістральних газопроводах складної конфігурації шляхом раціонального керування запірною арматурою. Розраховано тривалість стабілізації температури під час пневматичних випробувань ділянок газопроводу природним газом.

Проведено порівняння даних моделювання з даними вимірювального обладнання діючих магістральних газопроводів. Здійснено експериментальні вимірювання динаміки зміни тиску в посудині в процесі її випорожнення в атмосферу та визначено коефіцієнт витрати. Проведені натурні вимірювання випорожнення ділянки магістрального газопроводу через продувну свічу для визначення коефіцієнту витрати для свічі.

Ключові слова: газотранспортна система, нестационарні процеси, аварійні режими, аварійно-відновлювальний ремонт, витоки газу.

АННОТАЦИЯ

Мельниченко Ю.Г. Прогнозирование нестационарных процессов в сложных газотранспортных системах при аварийных ситуациях. – Рукопись.

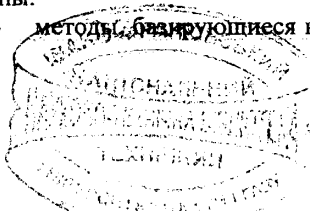
Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 - Трубопроводный транспорт, нефтегазохранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2010.

В диссертационной работе разработана классификация аварийных режимов газотранспортных систем, приведены основные понятия, которыми характеризуются аварийные режимы. В типичном аварийном режиме выделено три этапа:

- этап обнаружения утечки и прекращение транспортирования газа через аварийный участок;
- этап опорожнение ремонтируемого участка;
- этап заполнение отремонтированного участка и проведение на нем испытаний.

Для обнаружения аварийных режимов, вызванных образованием аварийных утечек газа из газопровода, применяются различные методы, которые разделены на две группы:

- методы, базирующиеся на использовании специализированного оборудования;



- методы обработки данных штатного измерительного оборудования газотранспортных предприятий.

Среди методов второй группы выделен метод проведения контроля в режиме реального времени используя данные моделирования газодинамических процессов в магистральном газопроводе. Приведены технологические задачи, которые возникают при опорожнении аварийных участков магистральных газопроводов для проведения ремонтных работ и при заполнении участков для проведения пневматических испытаний, и могут быть решены с помощью моделирования указанных процессов.

Проведен обзор литературы в области моделирования нестационарных неизо-термических течений газа в магистральных газопроводах сложной конфигурации. Определены вопросы, которые возникают при использовании конечно-разностного метода для моделирования нестационарных неизо-термических процессов.

Усовершенствована разностная модель уравнений движения газа с целью снижения немо-нотонности численного решения.

Для решения системы уравнений движения газа приняты следующие упрощения:

- осуществлена квазилинеаризация системы путем применения метода «предиктор-корректор»;
- система уравнений сведена к разности изотермическому виду на стадии «предиктор», а неизо-термичность учтена на стадии «корректор»;
- система линейных дифференциальных уравнений в частных производных аппроксимирована с помощью разностного аналога со вторым порядком аппроксимации по продольной координате и первым порядком аппроксимации по времени.

Для граничного условия в виде значения давления величина массового расхода в этой граничной точке участка газопровода определена по закону сохранения массы. Повышение порядка аппроксимации закона сохранения массы значительно снижает немо-нотонность числового решения при резких скачках значений граничных условий.

Для обнаружения аварийных расхождений измеренных и смоделированных параметров газотранспортных систем последние должны быть рассчитаны с повышенной точностью. Для этого проведена идентификация модели трения газа о стенку трубопровода по данным измерительного оборудования.

Для моделирования работы газотранспортной системы сложной конфигурации усовершенствован агрегативно-имитационный метод увязки элементарных частей сложной системы между собой. В метод дополнительно введены новые типы агрегатов: подкачка, ответвление и разветвление. Введение новых агрегатов дало возможность осуществлять расчет как стационарных, так и нестационарных газодинамических процессов в газотранспортных системах включительно с многоуровневой конфигурацией.

Исследован процесс истечения газа из трубопровода сквозь отверстие, соизмеримое с вероятными утечками. Исследования проводились с целью оценки эффек-

тивности обнаружения аварийных утечек методом моделирования в режиме реального времени.

Для обнаружения возможностей экономии газа, который выпускается в атмосферу при выполнении ремонтных работ, рассмотрена система двухнитиевого магистрального газопровода.

Для исследования влияния профиля трассы на динамику изменения параметров газового потока при пневматических испытаниях участков магистральных газопроводов рассмотрен процесс понижения давления на участке от давления испытания на прочность до давления испытания на герметичность. Определена длительность стабилизации температуры после понижения давления в газопроводе.

За результатами вычислительного эксперимента установлено, что моделирование в режиме реального времени позволяет выявлять аварийные утечки, которые являются на порядок меньшими от минимально допустимых размеров утечек, которые определяются автоматами аварийного закрытия кранов.

Предложено в качестве критерия оценки эффективности опорожнения участка сложного газопровода перед выведением ее из эксплуатации использовать разность давлений на краях участка. Доказано, что методы стравливания избытка газа зависят от положения аварийного участка относительно смежных компрессорных станций.

Разработан алгоритм контроля в режиме реального времени с использованием имитационной адаптивной модели работы газотранспортной системы.

Проведены экспериментальные измерения динамики изменения давления в сосуде, заполненной природным газом, в процессе ее опорожнения сквозь отверстие, а также натурные измерения динамики изменения давления в процессе опорожнения участка магистрального газопровода сквозь продувочную свечу. Определен диапазон значений коэффициента расхода отверстий в трубе в диапазоне низких избыточных давлений в газопроводе.

Ключевые слова: газотранспортная система, нестационарные процессы, аварийные режимы, аварийно-востановительный ремонт, утечки газа.

ABSTRACT

Melnychenko Yu. N. Transient Processes Prediction in the Complicated Gas-transport Systems under Emergency Situations. – Manuscript.

The thesis has been written to get the scientific degree of the candidate of technical sciences major in 05.15.13 – Pipeline Transportation, Oil-and-Gas Storages. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Ivano-Frankivsk, 2010.

The thesis covers the problems of efficiency increase of discovery of emergency gas leak, reducing gas losses during the period of taking out of service and starting the repair of a main gas pipeline section and efficiency increase of pneumatic tests planning of the repaired sections.

It is improved the differential model of transient nonisothermic gas flow on the gas line section. It is modified aggregate-imitation method of calculation of the gas-transport systems of any configuration. This thesis deals with the process if gas leak through the hole in

the gas pipeline. On the ground of got regularities it is proved the possibility of realization of accident-free gas pipeline operation control using the mathematical model data. It is defined the sphere of usage of this control method. The realization of emptying of gas pipeline sections passing through the rugged regions through the available blasting pipes is proved in the thesis. It covers the possibility of saving of gas emergency losses on main pipelines of complicated configuration by the efficient operating of stop valve. It is figured out the temperature stabilization during the pneumatic tests of gas pipeline section by natural gas.

The comparison of modeling data with measuring equipment data of present main gas pipeline is conducted. The experimental measuring of the pressure change dynamics in a vessel during its emptying into the atmosphere are studied and flow coefficient is defined. It is conducted the experimental measurements of emptying of the main gas pipeline section through the blasting pipe to determine it flow coefficient.

Key words: gas-transport system, transient processes, emergency conditions, renewal repair, gas leak.

НИИ
ФНТУНГ



an2110