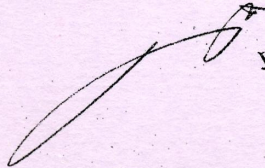


622.691.4
М69

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

МИХАЛЕВИЧ ОЛЕГ ТАДЕЙОВИЧ



(043)
УДК ~~622.691.4.004.67~~

М69

**РЕЗЕРВИ ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ
СКЛАДНИХ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ - 2007

Дисертацію 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.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Калцов Іван Іванович, Український науково-дослідний інститут природних газів (УкрНДІГаз), завідувач відділом транспортування газу, м. Харків

кандидат технічних наук, Говдяк Роман Михайлович, Відкрите акціонерне товариство «Український інститут по проектуванню об'єктів газової промисловості» (Укргазпроект), м. Київ

в на засіданні

ківському

а адресу:

5.

ній бібліотеці Івано-

у нафти і газу за

атська, 15.

канд. тех. наук, доцент

О. В. Корнута





ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Газопроводи України мають значну протяжність і оснащені великою кількістю компресорних станцій.

Складність структури складних газотранспортних систем (ГТС) створює додаткові вимоги до умов їхньої експлуатації. Функціонування газопроводу в заданому гідравлічному режимі вимагає узгодженості роботи всіх елементів мережі особливо, в пенгтагних ситуаціях. Окрім того, необхідна підтримка певного температурного режиму, причому на різних ділянках трубопроводу залежно від характеристик ґрунтів по довжині траси цей режим різний. Різке збільшення чи зменшення відбору газу призводить до неусталеності його течії по трубопроводу; це аналогічних наслідків призводить зменшення або збільшення підкачування газу, раптове включення чи виключення компресорних станцій (КС).

Перехідні режими роботи трубопроводу сунроводжуються зміною тиску, який порушує нормальну роботу його системи.

Значна частина газопроводів працює при неізотермічній течії газу і це необхідно враховувати при виборі режиму експлуатації газопроводу. Слід відзначити значний взаємовплив теплових і гідравлічних полів, що може спричинити підвищення аварійності та недостатньо ефективне використання ГТС.

Газотранспортний комплекс ДК «Укртрансгаз» специфічний, оскільки працює не лише як лінійна газотранспортна система, але й виконує функції газозбірної та газорозподільної мережі. Тому при оптимізації її роботи необхідно враховувати багато факторів, які, в свою чергу, призводять до зміни режимів транспортування газу. Багато з них зумовлюють аварійні ситуації. Тому проблему оптимізації режимів роботи газотранспортних магістралей України слід вважати однією з першочергових, оскільки вона нерозривно пов'язана із підвищенням надійності ГТС, зменшенням затрат на транспорт. Її слід розглядати як багатокритеріальну, оскільки у ряді випадків покращення одного із показників ефективності експлуатації призведе до погіршення інших або до аварійного стану системи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота носить науково-прикладний характер і входить в комплекс тематичних планів НАК "Нафтогаз України", спрямованих на підвищення надійності експлуатації газотранспортного комплексу і окреслених національною програмою «Нафта і газ України до 2010 року».

Мета і задачі дослідження. Конкретизація закономірностей газодинамічних процесів у системах газопроводів з урахуванням термодинамічних факторів та розробка рекомендацій на покращення умов функціонування складних ГТС.

Вказана мета досягається реалізацією наступних завдань:

1. Проведення аналітичних досліджень термогазодинамічних процесів у складних системах, встановлення закономірностей розподілу потоків газу з урахуванням змінних геометричних характеристик і характеру гідравлічного опору.
2. Встановлення характерних взаємозв'язків між параметрами нестационарних процесів для визначення критеріїв нестационарності режимів роботи газопроводів та ГТС, розробка класифікації експлуатаційних режимів.

an 858 - an 860

3. Аналітичні дослідження процесів пуску і зупинки компресорних станцій для оптимального керування експлуатаційними режимами.

4. Розробка моделі розрахунку режимів роботи складної газотранспортної системи для рівномірного завантаження різнотипних газоперекачуючих агрегатів на компресорних станціях при мінімальних значеннях витрат паливного газу.

Об'єкт дослідження. Складні системи газотранспортних магістралей.

Предмет дослідження. Нестационарні неізотермічні і квазістационарні процеси в ГТС.

Методи дослідження. У роботі використано методи математичного моделювання нестационарних і квазістационарних процесів у магістральних газопроводах, інтегральні перетворення, теорію узагальнюючих функцій, згладжування та диференціювання диспетчерських даних, статистичні методи обробки інформації. Для отримання числових результатів досліджень застосовувались сучасні новітні комп'ютерні технології.

Положення, що виносяться на захист – конкретизація закономірностей протікання нестационарних процесів у складних газотранспортних системах і класифікація технологічних режимів їх експлуатації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в оптимальному керуванні режимами роботи складної газотранспортної системи на базі комплексних теоретичних і експериментальних досліджень, які проводились вперше:

1. Розроблено математичну модель, в яку входить топологічна та геометрична моделі ГТС, а також проведено класифікацію режимів і дано їх порівняльну характеристику.

2. Конкретизовано закономірності протікання нестационарних режимів роботи складної газотранспортної системи з урахуванням відборів і підкачок газу.

3. Проведено аналітичні дослідження процесів пуску і зупинки компресорних станцій газопроводу з урахуванням температурних факторів для забезпечення оптимального керування експлуатаційними режимами.

4. Визначено критерії експлуатації газотранспортної системи при нестационарному русі газу, які зумовлюють режими роботи складної ГТС.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична значимість проведених наукових і експериментальних досліджень полягає в удосконаленні методів керування складними ГТС. Досліджено тривалість і характер перехідних процесів при пуску і зупинці КС, а також створено методикку керування роботою складної газотранспортної системи в умовах відбору і підкачування газу, застосування якої дає змогу оптимізувати режими роботи і керувати системою на різних її стадіях. Дана методика реалізована в алгоритмах («Обчислення проміжних параметрів гідравлічного опору, середньої температури, газової сталості, коефіцієнта стисливості») і програмах («Прогноз», «Імітаційна модель», «Розрахунок гідродинамічних параметрів»), які впроваджені на підприємствах ДК «Укртрансгаз».

Особистий внесок здобувача:

1. Проведено аналітичні дослідження термогазодинамічних процесів у складних системах, встановлено закономірності розподілу потоку газу з урахуванням змінних геометричних характеристик і характеру гідравлічного опору,

що дозволило запропонувати новий концептуальний підхід до створення моделі керування режимами[3,7].

2. Встановлено характерні взаємозв'язки між параметрами нестационарних процесів у газопроводах, внаслідок чого визначено критерії нестационарності режимів роботи, проведено класифікацію експлуатаційних режимів та розроблено методику нестационарних режимів за критерієм їх мінімальної тривалості[1,2,3,5,7].

3. Здійснено ряд аналітичних та експериментальних досліджень процесів пуску та зупинки компресорних станцій для вибору математичного опису нестационарних процесів у газопроводах і для підтвердження необхідності врахування температурних факторів з метою забезпечення оптимального керування експлуатаційними режимами[4,6].

4. Розроблено моделі, принципи їх реалізації та методи розрахунку режимів роботи складної газотранспортної системи за умови рівномірного завантаження різнотипних газенергуючих агрегатів на компресорних станціях при мінімальних витратах газу[8,9].

5. За результатами проведених досліджень створено математичні моделі та запропоновано методи і алгоритми їх реалізації[10,11,12,13,14,15].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались:

- на Міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці (ІФНГУНГ-40)” (Івано-Франківськ, 2007);
- на Міжнародній промисловій конференції «Майбутнє газотранспортної системи України в контексті лібералізації газового ринку ЄС» (Київ, 2005);
- на Науково-технічному семінарі «Обмін технічною інформацією в Україні для підтримки економічних перетворень» Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй (Київ, 2002);
- на 1-й Международной научно-технической конференции «Развитие компьютерных комплексов моделирования, оптимизации режимов работы систем газоснабжения и их роль в диспетчерском управлении технологическими процессами в газовой отрасли» (Москва, 2002);
- на Науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 2002-2003);
- на координаційній нараді з питань експлуатації магістральних газопроводів УМГ Прикарпаттрансгазу (Івано-Франківськ, 2001);
- на науковому семінарі кафедри спорудження та ремонту нафтогазопроводів і нафтогазосховищ (Івано-Франківськ, 2006);
- на розширеному семінарі за спеціальністю 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища (Івано-Франківськ, 2007).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 15 друкованих робіт; із них 5 у фахових виданнях, 5 патентів на винахід, 1 стаття одноосібно.

Обсяг роботи. Дисертація містить: вступ, 4 розділи, підсумкові висновки, перелік використаних джерел, що складається зі 107 найменувань, 7 таблиць, 42

рисунки та додатку. Основний зміст роботи викладено на 164 сторінках машинного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми досліджень, показаний її зв'язок із науковими планами, програмами, висвітлені наукова новизна і задачі досліджень, наукове та практичне значення отриманих результатів, подано загальну характеристику роботи. Наведена інформація про апробацію роботи, її впровадження, розкритий особистий внесок автора.

У першому розділі проведений аналіз роботи як лінійної частини магістрального газопроводу, так і компресорних станцій газотранспортної системи з точки зору режимів роботи газопроводів, на основі чого вибрано основні напрямки досліджень щодо розробки критеріїв класифікації режимів, оптимального керування газотранспортною системою при нестационарному неізотермічному русі газу з урахуванням тепло- і масообміну з навколишнім середовищем, а також використання реальних термодинамічних властивостей газу. Провідна роль у розв'язанні проблеми неусталеності режимів течії газу по трубопроводу і підтримки оптимальних параметрів роботи газопроводу належить Галліуліну З. Т., Грудзу В. Я., Жидковій М. А., Кошелеву А. А., Кривошеїну Б. Л., Силашу А. П., Тимківу Д. Ф., Щербакову С. Г., Яковлеву Є. І. Однак у цих роботах задачі гідродинаміки і теплообміну вирішувались окремо незалежно одна від одної, а задачі теплообміну з навколишнім середовищем – без урахування зміни тиску в часі за умови, що динамічні процеси стаціонарні. В інших роботах для спрощення методів розрахунку неусталених режимів пропонується розглядати протікання газу в два етапи: а) визнаються зміна тиску і швидкості газу при сталій температурі; б) розподіл швидкості та тиску вважається усталеним і визначається нестационарним теплообміном між газом та оточуючим газопровід зовнішнім середовищем, який відбувається до того часу, поки не встановиться стаціонарне температурне поле. Однак дослідження показують, що зміна швидкості потоку газу за течією та вздовж газопроводу впливає на характер інтенсивності теплообміну газу з навколишнім середовищем, а зміна температури газу призводить до нового розподілу швидкостей і до зміни режиму течії газу. Питаннями класифікації режимів роботи складних систем практично ніхто не займався і в літературі така класифікація відсутня. В зв'язку з цим для отримання більш якісних створених математичних моделей нестационарних неізотермічних режимів необхідно перш за все розробити і науково обгрунтувати класифікацію режимів роботи газотранспортних систем за різними ознаками, визначити у класифікації вагомий вплив кожного параметра на неусталений режим. Слід відзначити різні підходи до покращення результатів застосування математичних моделей різних авторів. Одним із ефективних способів зменшення втрат газу при транспортуванні є врахування температурних чинників і застосування повних математичних моделей. Для визначення температури у всіх перерізах по довжині газопроводу за основу в дисертації використано загальну

математичну модель. Виходячи із вище сказаного сформульовано мету і задачі дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений дослідженню впливу термодинамічних процесів у газопроводі. Для досягнення вказаної мети конкретизована математична модель. Основу цієї моделі складають балансові рівняння, які виражають закони збереження речовини, імпульсу та енергії.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho V_i) &= 0, \quad \frac{\partial \rho V_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho V_i V_j + p \delta_{ij}) = -\rho F_i^{\text{гп}} - \rho g \frac{\partial h}{\partial x_i}, \\ \frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon V_i + J_i^{\varepsilon}) &= Q^{\text{зовн}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут t — час, x_i — декартові координати ($i=1,2,3$), V_i — компоненти локальної швидкості руху газу, ρ — густина маси газу, p — тиск газу, δ_{ij} — дельта Кронеккера $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, i=j \\ 0, i \neq j \end{cases}$, $F_i^{\text{гп}}$ — Декартові компоненти сили тертя, розраховані на одиницю маси газу, g — прискорення земного тяжіння, h — висота точки над рівнем моря, ε — питома повна енергія газу ($\rho \varepsilon$ — густини енергії), J_i^{ε} — потік повної енергії газу, $Q^{\text{зовн}}$ — прилив ($Q^{\text{зовн}} > 0$) або відтік ($Q^{\text{зовн}} < 0$) тепла, зумовлений теплообміном газу з об'єктами ГТС та довкіллям, наприклад, через стінки труби або з пористим середовищем в ПСГ.

Після перетворення (1) одержимо наступне рівняння балансу внутрішньої енергії, яке є вихідним для опису теплообміну в транспортованому газі.

$$\rho \frac{du}{dt} + \frac{\partial J_i^Q}{\partial x_i} = -p \frac{\partial V_i}{\partial x_i} + \rho V_i F_i^{\text{гп}} + Q^{\text{зовн}}. \quad (2)$$

Використовуючи рівняння балансу маси, рівняння (2) можна подати у вигляді

$$\rho \frac{du}{dt} + \frac{\partial J_i^Q}{\partial x_i} = \frac{p}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + Q^{\text{зовн}}, \quad (3)$$

де J_i^Q — потік тепла, обумовлений процесом теплопровідності газу

$$J_i^Q = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x_i},$$

κ — коефіцієнт теплопровідності газу, u — внутрішня енергія (термодинамічний потенціал).

Теплопровідність газу залежить від параметрів термодинамічного стану — температури T , тиску p , масових концентрацій компонент газової суміші ξ_1, \dots, ξ_n :

$$\kappa = f_{\kappa p}(T, p, \xi_1, \dots, \xi_n).$$

Параметри термодинамічного стану газу — температура T , тиск p , густина маси ρ , масові концентрації компонент газової суміші ξ_1, \dots, ξ_n — пов'язані між собою рівнянням стану.

Нитома (тобто розрахована на одиницю маси газу) внутрішня енергія u є термодинамічним потенціалом. Її повний диференціал виражається рівнянням Гіббса, яке випливає з першого та другого законів термодинаміки

$$du = Tds - pdv + \sum_{\alpha} \mu_{\alpha} d\xi_{\alpha}, \quad (4)$$

де s – нитома ентропія, $v = \rho^{-1}$ – нитомий об'єм газу, μ_{α} – хімічні потенціали компонент газової суміші.

Беручи до уваги рівняння нерозривності (1), надамо рівнянню теплопровідності вигляду:

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) + \rho c_i V_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = - \left(\frac{c_p - c_v}{k_p} \right) \rho^2 \frac{\partial V_i}{\partial x_i} + \rho V_i F_i^{\text{тр}} + Q^{\text{зовн}} \quad (5)$$

Тут c_i – теплоємність газу за сталого об'єму (густини), c_p – теплоємність газу за сталого тиску;

$$k_p = \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_p \text{ --- термічний коефіцієнт зміни густини газу за сталого тиску.}$$

Термодинамічні властивості газу c_v , c_p , k_p – є функціями параметрів стану.

Розроблена математична модель роботи лінійної частини дозволяє врахувати зміни площі поперечного перерізу труби, енергетичні затрати на транспортування, неоднорідність стану внутрішньої поверхні. Крім цього в даному розділі розроблена математична модель режимів роботи КС, де використано рівняння збереження маси і кількості руху. В результаті розв'язку моделі визначено механічну потужність нагнітача, яка визначається витратою паливного газу. Створено модель керування газоотоками і визначено параметри оптимального керування динамічними режимами роботи трубопроводів.

У третьому розділі розроблена математична модель і алгоритм нестационарного руху газу за наявності компресорних станцій і відводів. Дана модель дозволяє знайти розподіл тисків по довжині трубопроводу з урахуванням всіх сил, які діють на нього, при використанні рядів Фур'є і перетворень Лапласа для збільшення швидкості обчислень. Проведені експериментальні дослідження розроблених математичних моделей і алгоритмів, метою яких є апробація програм для керування і прогнозування режимів складних систем як при підкачуванні, так і при відборі газу по трасі газопроводу.

Експеримент проводився на магістральному газопроводі «Союз» на ділянці КС «Борова – Первомайська – Машівка».

Результати досліджень приведені на рисунках 1-4 у вигляді графіків, на них же нанесені для порівняння експериментальні дані, які були зафіксовані при перехідних режимах роботи газопроводу під час проведення експерименту.

На графіках видно, що різниця між розрахунковими і заміряними значеннями знаходиться в межах точності вимірювань. Провівши аналіз експерименту при зміні режимів роботи газопроводу «Союз», можна констатувати:

- тиски в ході нестационарного процесу коливались у межах 57,5 до 69,1 атм, тобто в 1,2 рази, причому при збільшенні діапазону зміни витрат діазону зміни коливань тисків зростає. Так, при збільшенні витрат від 70873225,6 м³/добу до 73075170,92 м³/добу діапазон зміни тисків збільшився від 67,5 до 69,58 атм.

- тривалість нестационарних процесів залежить від величини відбору і зміни тиску та змінюється в межах від 7920 до 21960 с.

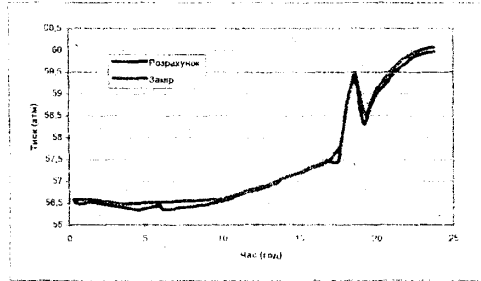


Рис.1. Характеристика тиску, розрахованого і заміряного по довжині газопроводу „Союз” (1421 км)

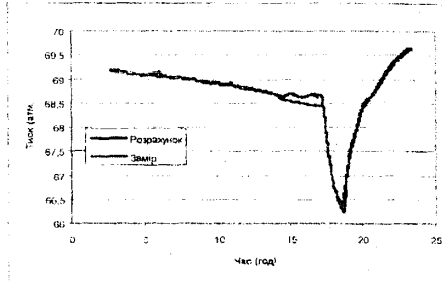


Рис.2. Характеристика тиску, розрахованого і заміряного по довжині газопроводу „Союз” (1487 км).

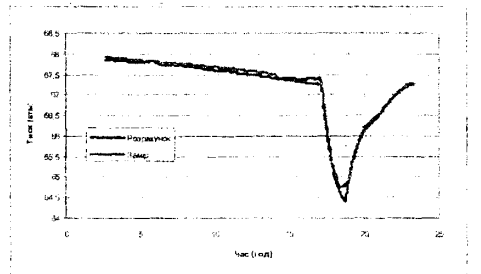


Рис.3. Характеристика тиску, розрахованого і заміряного по довжині газопроводу „Союз” (1515 км).

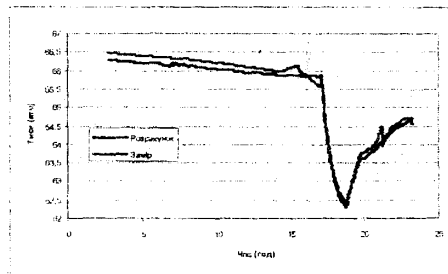


Рис.4. Характеристика тиску, розрахованого і заміряного по довжині газопроводу „Союз” (1542 км).

- нестационарні перехідні процеси слід віднести до класу самовідновлювальних, тобто таких, які не вимагають втручання зовнішніх керуючих факторів для встановлення стаціонарного режиму. На основі теоретичних досліджень, які підтвердились результатами експерименту, можна зробити висновок: повна математична модель, яка запропонована вперше, може бути прийнята для розрахунків складних систем, в які входять підкачування і відбори з метою керування і прогнозування режимів роботи систем транспортування газу. Визначено критерії нестационарності лінійної частини, а також введені критерії

нестационарності при розрахунках режимів роботи систем у цілому, а також проведено аналіз, де визначено, коли і яким критерієм користуватись при заданих режимах.

У четвертому розділі досліджуються температурні фактори, які впливають на режими роботи газотранспортної системи. Проаналізовано вплив температури та коефіцієнту теплопровідності на об'ємі витрати газу. З цією метою розглядається математична модель для розрахунків оптимальної витрати паливного газу для підтримки заданого тиску.

Результати експерименту підтверджують вплив складу термодинамічних властивостей газу на гідродинамічні характеристики процесу. Проведено аналіз експлуатації КС, де показано, що її оптимальне функціонування залежить від ступеня охолодження газу. Визначено кількість працюючих агрегатів повітряного охолодження при мінімальних затратах паливного газу на перекачування максимальних об'ємів газу споживачам. Аналіз результатів показує, що при глибині охолодження газу, однаковій для всіх КС і рівній 2°C , загальна потужність ГПА зменшується на 0,22%, збільшення охолодження на 4°C призводить до економії потужності на 0,5%, охолодження газу на 10°C – на 1,5%. Розроблено методу повного завантаження працюючих ГПА з використанням їх робочих характеристик і перетоків між КП. Досліджено нестационарні режими експлуатації газотранспортних систем, які виникають під час пуску і зупинки КС. Доведено, що для якісного і кількісного дослідження процесу та для одержання достовірної інформації про режими роботи необхідно використовувати повну математичну модель. Окрім цього визначається тиск, температура, масова швидкість газу в процесі їх стабілізації під час пуску або зупинки ділянки газопроводу та час, необхідний для стабілізації цих параметрів по всій ділянці газопроводу. За отриманими результатами побудовано криві стабілізації тиску (Рис. 5), масової швидкості m (Рис. 6) та його температури (Рис. 7.). Пунктирами на рисунках зображені величини, одержані з літературних джерел.

Виконане дослідження дає підставу зробити висновок: стабілізація тиску, температури і масової швидкості в зупиненому газопроводі наступають одночасно.

Пусковий режим магістрального газопроводу слід віднести до найскладніших технологічних режимів експлуатації. Гідравлічна інерційність, яка зводиться до необхідності привести в рух велику масу газу, підсилюється тепловою інерційністю, яка полягає у формуванні відповідного температурного режиму в трубопроводі та температурних полів у ґрунті навколо нього, а це призводить до різко вираженої нестационарності газового потоку. З практичної точки зору викликає інтерес зміна параметрів газового потоку в пусковий період з тим, щоб своєчасно прийняти відповідні командні рішення для виведення газопроводу на проектний технологічний режим. Тому метою дослідження є розв'язання поставленої задачі з використанням повної математичної моделі, яка враховує впливи інерційних сил на характер процесу, і перевірка правомірності застосування спрощеної математичної моделі. За одержаними результатами побудовано графіки залежності масової швидкості газу (рис. 8), температури (рис. 9).

Реалізація математичної моделі дала змогу вперше встановити, що нестационарна неізотермічність процесу носить хвильовий характер. Температурна

хвиля розповсюджується від початку газопроводу і затухає до його кінця. З фізичної точки зору це пояснюється постійно зростаючою по довжині і в часі лінійною швидкістю газу, що викликано різницею масових витрат у кінці і на початку газопроводу. Об'ємне розширення газу призводить до падіння температури, викликаного ефектом Джоуля-Томпсона. Однак внаслідок теплової інерційності падіння температури викличе зростання густини газу, що спричинить надмірне зростання масової швидкості.

Підсумовуючи виконані дослідження можна зробити такий висновок: розроблена в дисертації математична модель дає можливість більш точно зафіксувати і обґрунтувати ряд явищ, що виникають під час пуску газопроводу – це коливання газу в початковий момент, переміщення нагрітого газу вздовж ділянки магістрального газопроводу, коливання температури в довільному перерізі труби після проходження фронту нагрітого газу і багато інших факторів.

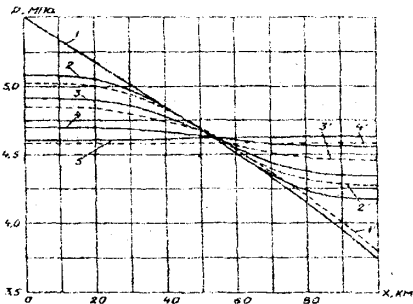


Рисунок 5. Криві стабілізації тиску (порівняння з результатами праць Кривошеїна Б. Л.):

$$1; 1' - \tau = 0 \text{ хв}; \quad 2; 2' - \tau = 2 \text{ хв};$$

$$3; 3' - \tau = 4 \text{ хв}; \quad 4; 4' - \tau = 8 \text{ хв}; \quad 5 - \tau = 13 \text{ хв}$$

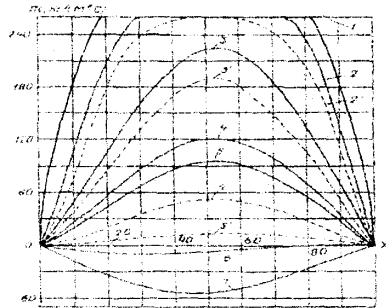


Рисунок 6. Криві стабілізації масової швидкості газу (порівняння з результатами праць

Кривошеїна Б. Л.):

$$1 - \tau = 0 \text{ хв}; \quad 2; 2' - \tau = 1 \text{ хв}; \quad 3; 3' - \tau = 4 \text{ хв};$$

$$4; 4' - \tau = 8 \text{ хв}; \quad 5; 5' - \tau = 9 \text{ хв};$$

$$6 - \tau = 13 \text{ хв}; \quad 7 - \tau = 15 \text{ хв}$$

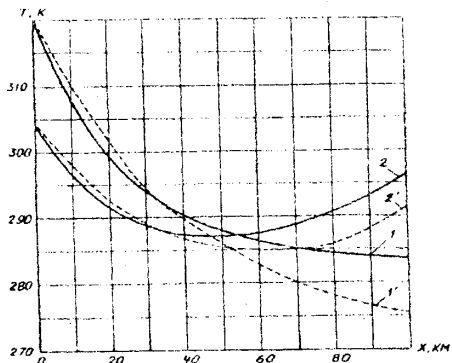


Рисунок 7. Криві стабілізації температури
(порівняння з результатами праці
Кривошеїна Б. Л.):

$$1; 1' - \tau = 0 \text{ хв}; \quad 2; 2' - \tau = 8 \text{ хв}$$

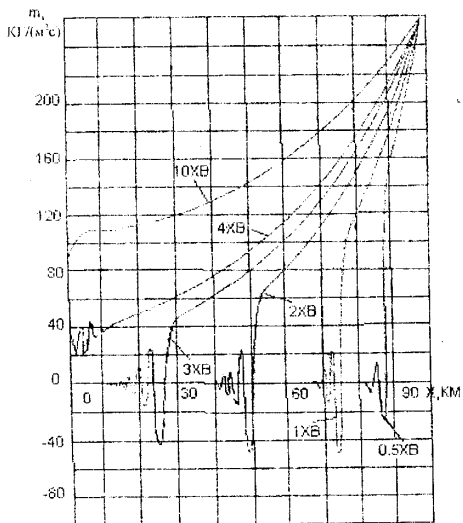


Рисунок 8. Залежність масової швидкості газу
від координати x газопроводу для різних
моментів часу

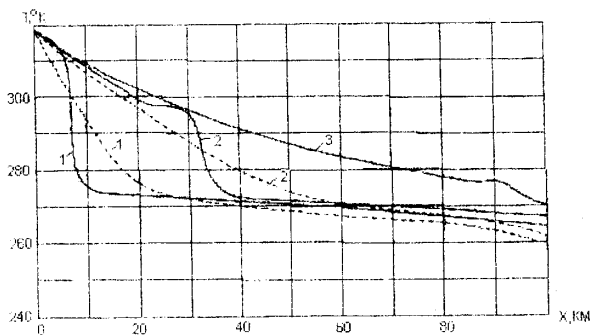


Рисунок 9. Зміна температури газу в трубопроводі від
координати x для різних моментів часу:

$$1; 1' - \tau = 2542.7 \text{ с}; \quad 2; 2' - \tau = 7385.9 \text{ с}; \quad 3 - \tau = 16200 \text{ с}$$

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень вирішено важливу науково-практичну задачу, що полягає в конкретизації закономірностей газодинамічних процесів у системах газопроводів з урахуванням термодинамічних факторів і дозволяє підвищити ефективність керування режимами газотранспортного комплексу, а саме:

1. На основі аналітичних досліджень термогазодинамічних процесів у складних системах газопроводів встановлено закономірності розподілу потоків газу з урахуванням змінних геометричних характеристик і характеру гідравлічного опору, що дозволило запропонувати новий концептуальний підхід до створення моделі керування режимами роботи газотранспортного комплексу.

2. Встановлено раніш невідомі характерні взаємозв'язки між параметрами нестационарних процесів у газопроводах, що дозволило встановити критерії нестационарності режимів роботи газотранспортних систем, запропонувати класифікацію експлуатаційних режимів і розробити методіку нестационарних режимів за критерієм мінімальної тривалості, яка опробована в процесі обчислювального експерименту, проведеного в умовах газопроводу «Союз» на ділянці КС «Борова-Первомайська-Машівка».

3. Проведені поглиблені аналітичні дослідження процесів пуску і зупинки компресорних станцій газопроводу дозволили дати рекомендації з вибору математичних моделей для опису нестационарних процесів у газопроводах і обґрунтувати необхідність урахування температурних факторів із метою забезпечення оптимального керування експлуатаційними режимами.

4. На основі розроблених моделей і принципів їх реалізації запропоновано методи розрахунку режимів роботи складної газотранспортної системи за умови рівномірного завантаження різнотипних газоперекачуючих агрегатів на компресорних станціях, визначення витрат паливного газу.

За результатами проведених досліджень створені математичні моделі та запропоновані методи й алгоритми їх реалізації, узагальнені в галузевій методиці «Удосконалення методів керування експлуатаційними режимами газотранспортних систем в умовах нерівномірного завантаження», яка впроваджена в Оперативне диспетчерське управління ДК «Укртрансгаз», що дозволило отримати річний економічний ефект в розмірі 1650 тис. гривень в рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Михалевич О.Т. Критерій нестационарності лінійних газопроводів// Науковий вісник. - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ: Факел. - № 1 (15). - 2007. - С. 89-93.

2. Михалевич О.Т., П'янило Я. Д., Притула М. Г., П'янило Г. М. Аналіз впливу гідравлічних параметрів на процес течіння газу в лінійних трубопроводах Науковий вісник. - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ: Факел. - №1(7). - 2004. - С. 44-48.
3. Михалевич О., Тимків Д., П'янило Я. Вплив зміни параметрів газу на розподіл тиску в горизонтальних трубопроводах// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу - Івано-Франківськ: Факел. - №4(9). - 2003. - С. 37-40.
4. Грудз В. Я., Тутко Т. Ф., Стоцький Ф. І., Михалевич О. Т. Динаміка зміни параметрів потоку газу в період пуску газопроводу// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу - Івано-Франківськ: Факел. - №3(12).- 2004. - С.35-39.
5. Золотарьов Л.Г., Михалевич О.Т. Автоматизоване диспетчерське керування роботою ГТС України. Нафтова і газова промисловість. - Київ. - 2002.- №2. - С. 55-58.
6. Михалевич О., П'янило Я., Притула М. Розрахунок параметрів об'єктів регулювання газопотоком. Вісник Національного університету «Львівська політехніка».- Львів. - 2003. - №481. - С.136-142.
7. Химко М. П., Михалевич О. Т., Фролов В. А., Гладун С. В., Павленко В. А., П'янило Я. Д., Притула М. Г. Розрахунок режимних параметрів роботи газотранспортних систем//Інформаційний огляд ДК «Укртрансгаз». - Київ. - 2004. - №5(29). - С. 2-5.
8. Золотарьов Л.Г., Михалевич О.Т. Досвід створення та розвитку багаторівневої автоматизованої системи оперативного-диспетчерського керування магістральними газопроводами України. //Тези доп. наук.-техн. семінару. - Березень 2002. - Київ. - 40 с.
9. Золотарев Л.Г., Михалевич О.Т., Черпакова Ю.В. Автоматизация диспетчерского управления МГ и ГТС Украины.// 1-я Международная научно-техническая конференция «Развитие компьютерных комплексов моделирования, оптимизации режимов работы систем газоснабжения и их роль в диспетчерском управлении технологическими процессами в газовой отрасли». - Сборник тезисов докладов. РГУ Нефти и газа им. И. М. Губкина. - Ноябрь 2002. - Москва.- С. 44-45
10. Павленко В.А., П'янило Я.Д., Притула М.Г., Михалевич О.Т., Блаут Ю.Е., Закаляк Ю.Р., Стула Ю.Н., Дзюбачик О.Н. Программный комплекс для решения режимных задач транспорта газа. Разработка, внедрение и эксплуатация.// 1-я Международная научно-техническая конференция «Развитие компьютерных комплексов моделирования, оптимизации режимов работы систем газоснабжения и их роль в диспетчерском управлении технологическими процессами в газовой отрасли». - Ноябрь. - Т1 - Москва, 2002. - С. 147-154.
11. Пат. 45186 Україна. МПК F 17 D 5/00. Спосіб визначення і контролю запасу газу на ділянці магістрального газопроводу: Пат. 45186 Україна. МПК F 17 D 5/00. Руднік А.А. Химко М.П. Михалевич О.Т., Золотарьов Л. Г., Колодяжний

- В. В., Черпакова Ю. В., Бантюков С. М. (Україна); ДК «Укртрансгаз», №2001064040; Заявл. 12.06.2001; Опубл. 17.01.2005, Бюл. №1 від 17.01.2005. – 6с.
12. Пат. 42460 А Україна. МПК 7 G 01 K 13/02. Спосіб визначення середньої температури газового потоку на ділянці трубопроводу: Пат 42460 А Україна. МПК 7 G 01 K 13/02. Коломєєв В.М., Химко М.П., Михалеви́ч О.Т., Золотарьов Л. Г., Черпакова Ю. В., Яценко О. І., Бантюков С. М. (Україна); ДК «Укртрансгаз», Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут автоматизованих систем управління транспортом газу (НДПАСУтрансгаз), №2001031537, Заявл. 06.03.2001, Опубл. 15.10.2001, Бюл. №9 від 15.10.2001. – 4с.
13. Пат. 34698 Україна. МПК 7 G 01 F 1/34. Спосіб визначення витрати транспортованого газу: Пат. 34698 Україна. МПК 7 G 01 F 1/34. Коломєєв В. М., Химко М. П., Михалеви́ч О. Т., Колодяжний В. В., Золотарьов Л. Г., Філогенов М. І., Черпаков В. В., Бантюков С. М. (Україна); ДК «Укртрансгаз», Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут автоматизованих систем управління транспортом газу (НДПАСУтрансгаз), №99041840, Заявл. 01.04.1999, Опубл. 15.07.2003, Бюл. №7 від 15.07.2003. – 4с.
14. Пат. 34697 Україна. МПК 7 F 17 D 5/00. Спосіб контролю гідралічного стану магістрального трубопроводу: Пат 34697 Україна. МПК 7 F 17 D 5/00. Руднік А.А., Химко М.П., Михалеви́ч О.Т., Колодяжний В. В., Золотарьов Л. Г., Поляшенко О. Г., Черпакова Ю. В., Бантюков С. М. (Україна); ДК «Укртрансгаз», Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут автоматизованих систем управління транспортом газу (НДПАСУтрансгаз), №99041839, Заявл. 01.04.1999, Опубл. 16.06.2003, Бюл. № 6 від 16.06.2003. – 5с.
15. Пат. 34178 Україна. МПК 7 F 17 D 5/02. Спосіб контролю магістрального газопроводу: Пат. 34178 Україна. МПК 7 F 17 D 5/02. Слесар П.Ф., Химко М.П., Михалеви́ч О.Т., Колодяжний В. В., Золотарьов Л. Г., Поляшенко О. Г., Черпакова Ю. В., Бантюков С. М. (Україна); ДК «Укртрансгаз», Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут автоматизованих систем управління транспортом газу (НДПАСУтрансгаз), №99063230; Заявл. 11.06.1999; Опубл. 15.05.2003; Бюл. №5 від 15.05.2003. – 5с.

АНОТАЦІЯ

Михалеви́ч О. Т. Резерви покращення експлуатаційних параметрів складних газотранспортних систем. – 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, 2007. Дисертацію присвячено удосконаленню методів керування неусталеними неізотермічними режимами газотранспортних систем на компресорних станціях і в лінійній частині трубопроводу. Проведено аналітичні дослідження термогазодинамічних процесів у складних системах. Встановлено закономірності розподілу потоку газу при змінних геометричних характеристиках і характеру гідравлічного опору, що дозволило створити новий концептуальний підхід до створення моделі керування режимами: а) математичну модель транспортної мережі з використанням методу ув'язки по вузлам; б) математичну модель газотранспортної мережі без компресорних станцій з використанням методу ув'язки по контурах із урахуванням та вибором початково-граничних умов. Створена модель керування газопотоками і формування параметрів оптимального керування. Встановлено характерні зв'язки між параметрами нестационарних процесів у газотранспортних системах для визначення критеріїв нестационарності режимів роботи лінійної частини газопроводу, а також введені критерії нестационарності при розрахунках режимів роботи газотранспортної системи в цілому. Розроблено класифікацію експлуатаційних режимів та розроблено методику розрахунку нестационарних режимів за критерієм мінімальної тривалості перехідних режимів. На основі цих математичних моделей побудовані алгоритми і програми розрахунку нестационарних режимів роботи газопроводів при наявності компресорних станцій і відводів, а також проведено розрахунок мінімальної витрати паливного газу для підтримки заданого тиску. Проведені аналітичні дослідження процесів пуску і зупинки компресорних станцій для вибору математичних моделей нестационарних процесів і врахування температурних режимів з метою забезпечення оптимального керування експлуатаційними режимами.

Даний підхід дозволив розробити моделі і принципи їх реалізації для режимів роботи складної газотранспортної системи, рівномірного завантаження різномісних газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях з метою мінімальних витрат паливного газу при максимальних поставках газу споживачам.

Ключові слова: газотранспортна система, газоперекачувальний агрегат, компресорна станція, газотурбінна установка, компресорний цех, апарат повітряного охолодження.

АННОТАЦИЯ

Михалевич О. Т. Резервы улучшения эксплуатационных параметров сложных газотранспортных систем. – 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, 2007.

Диссертация посвящена усовершенствованию методов управления неустановившимися неизотермическими режимами газотранспортных систем на компрессорных станциях и в линейной части трубопровода.

Во вступлении обоснована актуальность темы исследований; показана ее связь с научными планами, программами, освещены научная новизна и задачи исследований, научное и практическое значение полученных результатов, дается общая характеристика работы. Приведена информация об апробации работы, ее внедрении, раскрыт личный вклад автора.

В первом разделе проведен анализ работы газотранспортной системы как линейной части магистрального газопровода, так и компрессорных станций с точки зрения режимов работы газопроводов, на основе чего выбраны основные направления исследований касательно разработки критериев классификации режимов, оптимального управления газотранспортной системой при нестационарном неизотермическом движении газа с учетом тепло- и массообмена с окружающей средой, а также использованием реальных термодинамических свойств газа.

Одним из эффективных способов уменьшения потерь газа при транспортировке являются температурные факторы. Для определения температуры во всех сечениях по длине газопровода в качестве основы в работе использована общая математическая модель. Исходя из вышесказанного, сформулированы цели, методы и задачи диссертационной работы.

Второй раздел посвящен исследованию влияния термодинамических процессов в газопроводе. Для достижения указанной цели создана математическая модель. Основу этой модели составляют уравнения, выражающие законы сохранения вещества, импульса и энергии. Проведены аналитические исследования термогазодинамических процессов в сложных системах. Установлены закономерности распределения потока газа при переменных геометрических характеристиках и характера гидравлического сопротивления, что позволило создать новый концептуальный подход к созданию модели управления режимами: а) математическую модель транспортной сети с использованием метода увязки по узлам; б) математическую модель газотранспортной сети без компрессорных станций с использованием метода увязки по контурам с учетом и выбором начально-граничных условий.

Разработана математическая модель работы линейной части позволяет учесть изменения площади осевого сечения трубы, энергетические расходы на транспортировку, неоднородность состояния внутренней поверхности. Кроме этого в данном разделе разработана математическая модель режимов работы КС, где использовано уравнение сохранения массы и количества движения. В результате решения модели рассчитана мощность нагнетателя, определяющаяся расходом топливного газа. Создана модель для управления газопотоками и определены параметры оптимального управления динамическими режимами работы трубопроводов.

В третьем разделе созданы алгоритмы и методика нестационарного движения газа в газопроводах при наличии компрессорных станций, а также отборов и подкачек газа в трубопровод. С целью оптимизации переходных процессов

разработаны методика и алгоритм расчета линейной структуры нестационарного режима. Проведен вычислительный эксперимент по разработанным алгоритмам и программам нестационарного движения газа в газопроводах. Создана модель управления газопотоками и формирования параметров оптимального управления. Установлены характерные связи между параметрами нестационарных процессов в газотранспортных системах для определения критериев нестационарности режимов работы, разработана классификация эксплуатационных режимов. Определены критерии нестационарности линейной части газопровода, а так же введены критерии нестационарности при расчетах режимов работы газотранспортной системы в целом. Проведен анализ, которым определено, когда и каким критерием необходимо пользоваться при заданных режимах.

В четвертом разделе исследуются температурные факторы, влияющие на режимы работы газотранспортной системы. Проанализировано влияние температуры и коэффициента теплопроводности на объемные расходы газа.

С этой целью рассматривается математическая модель для расчетов оптимального расхода топливного газа для поддержания заданного давления.

Результаты эксперимента качественно подтверждают влияние термодинамических параметров газа на гидродинамические характеристики процесса. Проведен анализ эксплуатации КС, где показано, что ее оптимальное функционирование зависит от степени охлаждения газа. Определено количество работающих агрегатов воздушного охлаждения при минимальных затратах топливного газа на перекачивание максимальных объемов газа потребителям. Анализ результатов показал, что при глубине охлаждения газа, одинаковой для всех КС и равной 2°C , общая мощность ГПА уменьшается на 0,22%, увеличение охлаждения на 4°C приводит к экономии мощности на 0,5%, охлаждение газа на 10°C – на 1,5%. Разработана методика полной загрузки работающих ГПА с использованием их рабочих характеристик и учетом перетоков между КП. Исследованы нестационарные режимы эксплуатации газотранспортных систем, которые возникают во время пуска и остановки КС. Доведено, что для качественного и количественного исследования процесса, а также для получения достоверной информации о режимах работы необходимо использовать полную математическую модель. Кроме этого определялось давление, температура, массовая скорость газа в процессе их стабилизации во время пуска и остановки участка газопровода, а также время, необходимое для стабилизации этих параметров по всему участку газопровода.

Подытоживая выполненные исследования можно сделать вывод: полная математическая модель дает возможность зафиксировать ряд явлений, которые возникают во время пуска газопровода – это колебание газа в начальный момент, перемещение нагретого газа вдоль участка магистрального газопровода, колебание температуры в произвольном сечении трубы после прохождения фронта нагретого газа и много других факторов.

На основании разработанных математических моделей построены алгоритмы и программы расчета нестационарных режимов работы газопроводов при наличии компрессорных станций и отводов, а также проведен расчет минимальных затрат топливного газа для поддержания заданного давления. Проведены

аналитические исследования процессов пуска - остановки компрессорных станций для выбора математических моделей нестационарных процессов и учета температурных режимов с целью обеспечения оптимального управления эксплуатационными режимами.

Данный подход позволил разработать модели и принципы их реализации для управления режимами работы сложной газотранспортной системы, равномерной загрузки разнотипных газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях с целью минимальных расходов топливного газа при максимальных поставках газа потребителям.

Ключевые слова: газотранспортная система, газоперекачивающий агрегат, компрессорная станция, газотурбинная установка, компрессорный цех, аппарат воздушного охлаждения.



ANNOTATION

Mikhalevich O.T. Reserves of complex gas transporting systems operating parameters improvement. -- Manuscript.

Thesis for competition of a scientific degree of candidate of engineering sciences in specialty 05.15.13 – oil and gas pipelines, bases and depositories. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. - Ivano-Frankivsk, 2007.

Dissertation is dedicated to the improvement of gas transporting systems unsettled non-isothermal modes management methods in the compressor stations and linear parts of the pipelines. Analytical research of the thermal-gas-dynamic processes in complex systems has been conducted. Gas streams distribution regulations under conditions of changing geometrical characteristics and the character of hydraulic resistance have been exposed, that allowed to create the mathematical model of gas-transporting network computation by using the method of binding contour and the method of binding nodes, taking into consideration various initial and boundary conditions. The mathematical model of gas streams control and optimum gas streams management parameters forming has been created.

The distinctive correlation between non-stationary processes in the gas-transporting systems parameters have been determined, that allowed to establish the criteria of non-stationary behavior of the linear part of the pipeline operating modes, as well as to determine the complete gas-transporting system operating modes non-stationary criteria.

The gas-transporting systems operating modes classification has been developed as well as the methodology of computation of the non-stationary operating modes of the gas-transporting systems using the criteria of transitory modes minimal duration have been created.

The given approach allowed developing models and principles of their realization for the complex gas-transporting system operating modes, and equal load of differen

types of compressor stations gas-pumping equipment with the purpose of gas fuel minimal consumption and maximal gas delivery to the customers.

Keywords: gas-transporting system, gas-pumping equipment, compressor station, gas-turbine machinery, compressor workshop, air-cooling equipment.