

Дд. 091.4
Т 90

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

ГРУДЗ ЯРОСЛАВ ВОЛОДИМИРОВИЧ

052(043)

УДК 622.691.4.004.67

Т 90

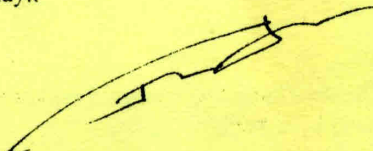
РОЗРОБКА МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ
ГАЗОПРОВОДІВ В ПРОЦЕСІ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ ПОРШНЯМИ

к/мв

Спеціальність 05.15.13 -- Нафтогазопроводи, бази та сховища

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Івано-Франківськ-2002

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Газотранспортний комплекс України характеризується значною протяжністю газопроводів різного діаметру й призначення. Тривалий процес експлуатації обладнання та систем обумовив суттєву зміну гідравлічного опору лінійних дільниць.

Складність технологічних схем газотранспортних магістралей не дозволяє гарантовано оцінити стан їх елементів загальновідомими методами. Неточні і неадекватні відомості про реальний стан елементів системи транспорту газу створюють труднощі в обслуговуванні та експлуатації об'єктів, що характеризуються значною протяжністю. Експлуатація лінійних дільниць в таких умовах веде до суттєвої перевитрати енергоносіїв та до зниження пропускної здатності газотранспортної системи, що особливо актуальне для народного господарства України на сучасному етапі.

Тому впровадження прогресивних технологій і сучасної техніки діагностування стану лінійних дільниць газопроводів слід віднести до першочергових заходів підвищення економічної ефективності і експлуатаційної надійності системи дальнього транспорту газу. До таких заходів належить використання інтелектуальних поршнів з метою одержання правдивої інформації про геометричні характеристики і корозійний стан трубопроводів.

Для забезпечення вірогідності інформації, одержаної в процесі діагностування, необхідно забезпечити рівномірний рух інтелектуального поршня з наперед заданою швидкістю. Для створення таких умов слід виконати регулювання режиму роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА) на компресорних станціях (КС) в період руху поршня, тобто певним чином регулювати подачу газу в дільницю, що проходить обстеження.

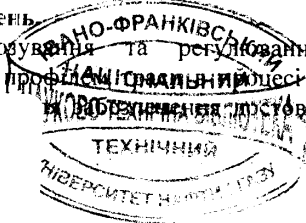
Складні трасові умови газопроводів та нестаціонарний характер руху газу викликають суттєві труднощі при побудові та реалізації математичних моделей процесу. Тому виникає необхідність в проведенні наукових досліджень, які дозволять спростити задачу і створити методи її реалізації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота носить прикладний характер і входить в комплекс тематичних планів АТ Укргазпром. Виконані дослідження очистки газопроводу "Братерство" в рамках теми 79/95 (№01195U026111) і регулювання режиму газопроводів при русі діагностичних поршнів в рамках тем 74/96 та 183/96 (№01196U014086)

Мета і задачі досліджень.

Розробка методів прогнозування та регулювання режиму роботи газопроводу в пересіченим профілі і спадній процесі його діагностування інтелектуальними поршнями з метою одержання достовірної інформації про



Вказана мета досягається шляхом реалізації наступних задач:

1. Дослідження характеру руху механічних поршнів під тиском газу в газопроводах з пересіченим профілем траси.

2. Аналітичні дослідження газодинамічних процесів в газопроводі в період руху по ньому інтелектуального поршня.

3. Оцінка впливу профілю траси та неізотермічності руху газу в трубах на адекватність моделі газодинамічного процесу в газопроводі при русі інтелектуального поршня.

4. Аналіз існуючих методів регулювання режимів роботи газопроводу і розробка аналітичної та алгоритмічної бази для підвищення його ефективності стосовно газопроводів з пересіченим профілем траси.

5. Розробка методики розрахунку режиму роботи газопроводу в період пропуску інтелектуального поршня для створення умов одержання достовірної інформації про стан лінійної ділянки.

Об'єкт дослідження: внутрішньотрубна діагностика газопроводів.

Предмет дослідження: режими роботи газопроводів в процесі руху інтелектуального поршня.

Методи дослідження: методи математичного моделювання нестационарних газодинамічних процесів та сучасні методи реалізації моделей. Вірогідність отриманих висновків підтверджено результатами натурних дослідів та статистичними даними.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше проведено аналітичні дослідження газодинамічних процесів в газопроводі в період руху інтелектуальних поршнів і встановлено їх міру нестационарності, що дозволило обґрунтувати вибір математичної моделі для розробки методики розрахунків технологічного процесу.

2. Побудована математична модель руху твердого тіла по трубопроводу під тиском газу дозволила провести дослідження впливу профілю траси на кінематику процесу.

3. Вперше розроблено аналітичну та алгоритмічну базу для підвищення ефективності регулювання режимів роботи газопроводів з пересіченим профілем траси в період діагностування, що дозволяє розробити методи регулювання режиму роботи газопроводу в період руху інтелектуального поршня.

4. Розроблено методику розрахунку режиму роботи газопроводу в період руху інтелектуальних поршнів за умови отримання достовірної інформації про стан лінійної ділянки.

Практичне значення одержаних результатів. Теоретичні дослідження дозволили розробити методи регулювання швидкості руху інтелектуального поршня по трасі газопроводу з пересіченим профілем траси і прогнотувати режим роботи газопроводу при цьому. За результатами їх реалізації розроблено і випущено галузеву методику.

Розроблені рекомендації з регулювання режимів роботи газопроводів в період очистки та руху діагностичних інтелектуальних поршнів впроваджено на підприємствах ДП Прикарпаттрансгаз (1995-97 р.), Львівтрансгаз (1997 р.)

Особистий вклад автора в одержанні наукових результатів.

1. Автором вперше проведено дослідження впливу профілю траси газопроводу на кінематику руху поршнів та розрахунки з метою визначення діапазону зміни їх швидкості руху [3,4].
2. Автором розроблено основи моделювання термогазодинамічних процесів в газопроводах з пересіченим профілем траси при проведенні дефектоскопічних робіт [2,8,10].
3. Автором теоретично обгрунтовано вибір методів керування оптимізації параметрів руху інтелектуальних поршнів по газопроводах в гірських умовах [6,7,9,11].
4. Пошукувач брав безпосередню участь у впровадженні результатів досліджень, одержаних в роботі, складанні галузевих керівних документів. При його безпосередній участі складено галузеву методику [1,4].

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи висвітлено в доповідях і повідомленнях на:

науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу. (Івано-Франківськ, 1996).

конференції професорсько-викладацького складу Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу. (Івано-Франківськ, 1997).

науково-практичній конференції "Шляхи підвищення якості підготовки спеціалістів для будівництва та експлуатації систем трубопровідного транспорту" (Івано-Франківськ, 1998).

науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів АТ Укргазпром (Лисовичі, 1996).

науково-технічній конференції "Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта". (Мінськ, 2000).

В повному об'ємі результати досліджень доповідались на засіданні кафедри порудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтохранищ ІФДТУНГ і науково-технічному семінарі факультету нафтогазопроводів.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 11 друкованих робіт, з яких 7 у фахових виданнях України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 розділів, підсумкових висновків та переліку використаних джерел, що містить 108 найменувань. Основний зміст викладено на 145 сторінках машинописного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі приведені дослідження впливу профілю траси газопроводу на кінематику руху поршнів.

Результати досліджень фірми РОЗЕН показали, що для одержання вірогідної інформації при діагностуванні трубопроводу інтелектуальними поршнями необхідно забезпечити рух поршня з швидкістю, що не перевищує 3 м/с. При збільшенні швидкості поршня понад вказану величину в одержану інформацію вносяться спотворення. Враховуючи високу вартість внутрішньотрубного діагностування (понад 3000 у.о. на 1 км), слід звернути особливу увагу на кінематику руху інтелектуального поршня по газопроводу в умовах пересіченого профілю траси.

Математичне моделювання динаміки руху твердих тіл по газопроводах під тиском газу викликає суттєві труднощі як з точки зору створення, так і реалізації моделі. Складні фізичні процеси тертя і зміни в часі рухомої сили призводять до громіздких співвідношень між параметрами, що вимагають емпіричних побудов відповідних залежностей. Особливо ускладнюється моделювання процесу руху твердого тіла по трубопроводу у випадку пересіченого профілю траси. В цьому випадку на тверде тіло діє змінна за величиною і напрямком гравітаційна сила, яка і сама по собі має вплив на кінематику руху з одного боку, а з іншого посередньо впливає на характер руху газу в газопроводі, що в кінцевому рахунку також впливає на зміну в часі швидкості руху твердого тіла.

В основу математичної моделі для дослідження руху поршня по газопроводу з пересіченим профілем траси покладене диференційне рівняння, побудоване на основі принципу д'Аламбера.

Сила, що викликає рух поршня, визначалася перепадом тиску на рухомій границі. Аналіз літературних джерел, присвячених дослідженню процесу очистки газопроводів, показав, що в залежності від умов подачі газу в газопровід можливі два варіанти величини перепаду тиску на рухомому твердому тілі. Якщо газ подається в газопровід при сталому тиску на початку дільниці, то перепад тиску на рухомому поршні сталий за весь період його руху. Якщо газ подається в газопровід з ресівера сталого об'єму, то перепад тиску на рухомому поршні змінюється за законом, близьким до експоненціального.

До сил опору віднесено силу механічного тертя, силу інерції та силу гравітації. Сила тертя залежить від характеру процесу, швидкості відносного руху пари, зносу ущільнюючих елементів вздовж траси. В побудованій моделі ця сила визначена на основі фундаментальних досліджень Крагельського І.В. Сили інерції та гравітації визначались масою рухомого поршня і профілем траси газопроводу.

Реалізація створеної математичної моделі дозволила одержати закон руху твердого тіла під тиском газу в газопроводі з пересіченим профілем траси.

Аналіз результатів розрахунків показує, що профіль траси газопроводу має вплив на характер руху поршнів по трубопроводу. При перевищенні геодезичних відміток до 25 м (геометричний нахил до 0,0025) вплив гравітаційних сил на характер руху поршня несуттєвий, в зв'язку з чим профілем траси газопроводу можна нехтувати. Якщо різниця геодезичних відміток перевищує 25 м (геометричний нахил дільниці перевищує 0,0025), гравітаційні сили мають вплив на характер руху поршня. Із збільшенням різниці геодезичних відміток цей вплив зростає, при цьому зростання перепаду геодезичних відміток призводить до збільшення часу руху поршня по трубопроводу. При однаковій довжині траси час руху поршня при збільшенні різниці геодезичних відміток на трасі від 25 м до 500 м зростає в 4,58 рази, що вимагає врахування профілю траси при розрахунках режиму руху поршнів по газопроводу. Необхідно відмітити, що характер з'єднання послідовних дільниць (висхідної з низхідною чи навпаки) при цьому не має значення. Тому достатньо проаналізувати одну з форм профіля і вияснити її вплив на динаміку руху поршнів. З фізичної точки зору збільшення часу руху поршня по газопроводу з профілем траси можна пояснити тим, що втрата енергії за рахунок дії гравітаційних сил на висхідних дільницях не може бути компенсована приростом енергії поршня на низхідних дільницях, тобто втрати енергії при русі поршня не можуть бути компенсовані.

При постійному тиску на початку газопроводу характер руху поршня може бути розбитий на два етапи: етап стабілізації швидкості поршня і час руху з стабільною швидкістю. Час стабілізації швидкості руху поршня залежить від перепаду геодезичних відміток траси, однак така залежність несуттєва. Цей час лежить в межах 600-850 с. в залежності від профілю траси і при зміні геометричного нахилу від +0,05 до -0,05 час стабілізації швидкості зростає в 1,38 рази. Однак, найбільший інтерес в даному дослідженні викликає вплив зміни профілю траси на характер руху поршня. Результати розрахунків показують, що при русі поршня по висхідній дільниці його швидкість суттєво менша, ніж при русі по низхідній дільниці. Очевидно, що співвідношення швидкостей залежить від перепаду геодезичних відміток. Так, при перепаді геодезичних відміток 100 м співвідношення швидкостей на висхідній і низхідній дільницях складає 0,7, а при перепаді висот в 500 м це співвідношення зменшується до 0,07, тобто в 10 разів.

Це значить, що в газопроводах з пересіченим профілем траси необхідно приймати керуючі рішення з метою стабілізації швидкості поршня, якщо різниця геодезичних відміток на стикі висхідної і низхідної дільниці перевищує 50,0 м на 1 км.

Другий розділ присвячено дослідженням термогазодинамічних процесів в газопроводі при русі поршня.

Рух поршня по газопроводу призводить до нестационарності процесу газодинаміки потоку в трубопроводі, характер якого в свою чергу впливає на динаміку руху поршня. Для надійного керування характером руху поршня необхідні дослідження газодинамічного процесу, який в свою чергу визначає умови подачі газу в запоршневий простір, тобто визначає керівні впливи.

Дослідниками трубопровідного транспорту газу розроблено методи побудови математичних моделей та загальні принципи їх реалізації. Однак автори не дають оцінки впливу профілю траси газопроводу на характер протікання нестационарного процесу. Крім того, слід зауважити, що задача керування рухом твердого тіла по газопроводу зводиться до визначення граничних умов для створеної математичної моделі нестационарного процесу і тому для неї не існує стандартних методів реалізації.

Запропонована схема реалізації математичної моделі дозволяє побудувати характер руху поршня по газопроводу та розподіл тиску, температури і витрати газу по довжині дільниці і в часі. Як початкові умови задаються стаціонарні закони розподілу параметрів руху газу. Положенням поршня в кожен момент часу лінійна дільниця ділиться на дві області: газову область, що рухається перед поршнем і область запоршневого простору. На початку дільниці задаються тиск і температура, а в кінці – масова витрата газу. На рухомій границі задається зв'язок між тиском на поршень з сторони запоршневого простору P_* і тиском перед рухомим поршнем P , а також рівність лінійних швидкостей газу перед і за поршнем швидкості руху поршня:

$$P_* = P + \Delta P$$

$$\frac{1}{\rho_*} \frac{\partial P_*}{\partial x} \Big|_{x=l} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{x=l} = - \frac{dl}{dt}$$

де: ΔP - перепад тиску на рухомому поршні; $l(t)$ – характер руху поршня

Процес розбивається на дискретні проміжки часу Δt , на кінець кожного з яких розраховується положення поршня та параметри газового потоку. Для початкового моменту часу довжина області запоршневого простору $l=0$. Тому на початку дільниці одночасно відомі тиск, температура і масова витрата газу. Це дає змогу визначити лінійну швидкість газу w , яка приймається рівною швидкості поршня. Тому його переміщення за проміжок часу Δt становить $l=w \Delta t$. Таким чином визначено довжини області запоршневого простору і перед рухомим поршнем на кінець проміжку часу Δt . Це дозволяє реалізувати для кожної з поршнем на кінець проміжку часу Δt .

Це дозволяє реалізувати для кожної з областей нестационарну задачу про розподіл тисків та швидкостей газу і визначити лінійні швидкості газу на рухомій границі на кінець проміжку часу Δt та знайти віддаль, на яку переміститься поршень за наступний проміжок часу.

Нестационарна неізотермічна задача про рух газу всередині кожної області описувався системою диференціальних рівнянь в часткових похідних, яка містила рівняння руху, рівняння нерозривності та рівняння енергії. На основі агрегативно-імітаційного методу враховувався профіль траси газопроводу "Братерство". Для одержання розв'язку затрати машинного часу склали 22 год.

З метою спрощення моделі для реалізації нестационарної задачі всередині кожної з областей була використана лінеаризована ізотермічна система рівнянь, в якій не враховувався профіль траси. Це дозволило скоротити машинний час реалізації моделі майже в 100 раз.

Аналіз результатів прогнозування параметрів газодинамічного процесу в газопроводі показує, що максимальне розходження між тисками, розрахованими за різними моделями, не перевищує 5.1%, а максимальне розходження в визначені масової витрати газу не перевищує 6.7%. При цьому вказана розбіжність залежить від параметрів термогазодинамічного процесу (початкових тиску і температури і кінцевої витрати газу) і від кута нахилу дільниці газопроводу до горизонту.

Встановлено, що при номінальних значеннях початкового тиску в межах (4 - 5 МПа), розбіжність у прогнозах розподілу тиску між вказаними моделями не перевищує 3.1% і характерна для кінцевих моментів руху поршня. Вплив температури газу на газодинамічний процес стає відчутним тільки в області високих значень початкової температури. Так, при тиску 4.5 МПа і температурі 300 К розбіжність між тисками складає 2.4%, а між масовими витратами газу - 3.8%. Якщо при цьому ж тиску початкова температура зростає до 350 К, то вказані розходження збільшаться відповідно до 3.6% і 4.9%, а при зростанні початкової температури до 400 К складуть відповідно 7.8% і 9.9%.

При початковій температурі 300 К з зростанням початкового тиску з 4.5 МПа до 7.5 МПа максимальна розбіжність між прогнозам тиску збільшується 2.4% до 4.8%, а між прогнозами витрати - відповідно з 3.6% до 5.9%. Таким чином, в реальному діапазоні зміни температур і тисків, який характерний для магістральних газопроводів, застосування спрощеної математичної моделі газодинамічних процесів призведе до похибки, яка не перевищить 5%, що в інженерних розрахунках допустимо.

Розрахунки параметрів газодинамічних процесів проводились для умов різного нахилу лінійної дільниці до горизонту. Результати показують, що при нахилі 0.2 розбіжність в прогнозах між моделями по тиску складає при початковому тиску 4.5 МПа і початковій температурі 300 К максимально 1.6%, а по масовій витраті - 2.8%. При збільшенні

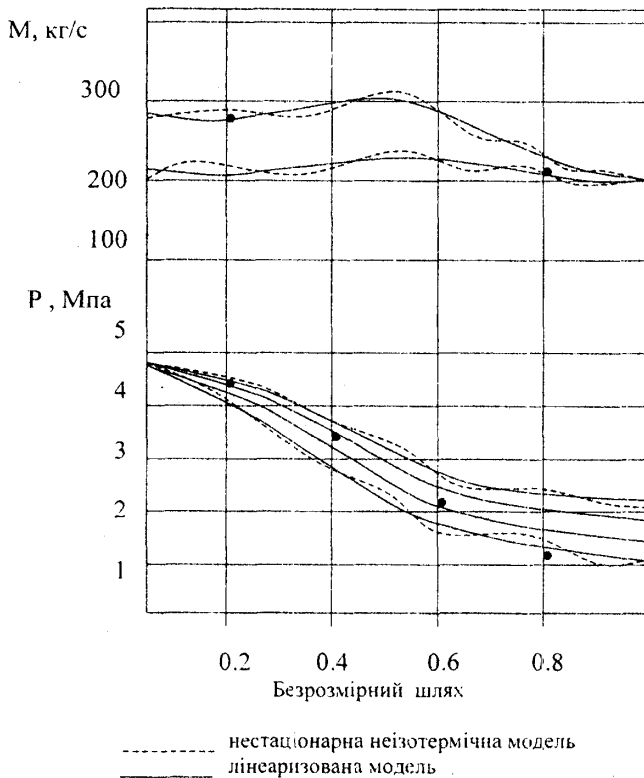
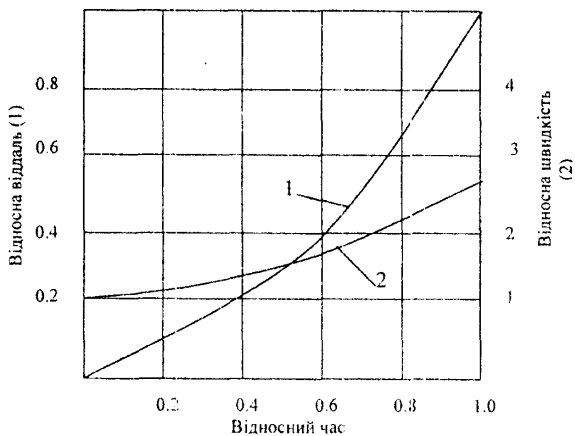


Рисунок 1 - Характер руху поршня (а) і змiна параметрiв режиму при цьому (б)

геометричного нахилу дільниці до горизонту до 0.5 вказані розходження зростають відповідно до 2.4% і 3.6%, а при значенні геометричного нахилу 0.8 вони складуть 6.1% і 7.9%. Отже, при реальних нахилах дільниць до горизонту розходження між прогнозами по різних моделях лежить в допустимих межах.

Проведено аналіз ступеня нестационарності газодинамічного процесу, яка оцінювалась критеріями Струхалія та нестационарності. Результати розрахунків подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Оцінка ступеня нестационарності газодинамічного процесу

№ режиму	Тиск на початку, МПа	Температура на початку, К	Середня витрата, кг/с	Час процесу 1000т, с	Зміна витрати ΔQ	Середня швидкість, м/с	Критерії	
							Струхалія Sh	нестационарності $10^6 N_i$
1	4.5	313	286	17.04	0.186	5.4	0.96859	0.429
2	5.5	313	326	18.77	0.148	4.9	0.96814	0.253
3	4.5	288	254	18.04	0.154	5.1	0.96846	0.343
4	5.5	288	303	19.17	0.132	4.8	0.96859	0.208

Результати показують, що для реальних режимів критерії Струхалія та нестационарності суттєво менші за їх граничні значення $Sh=1.85$ і $N_i=1.410^6$. Це дозволяє використати для моделювання рівняння стаціонарного руху газу.

Третій розділ присвячено розробці моделей та методів керування режимом роботи газопроводу в процесі діагностування.

Найбільш ефективним методом регулювання режиму роботи газопроводу з метою обмеження швидкості руху інтелектуального поршня слід вважати керування роботою нагнітачів на компресорній станції шляхом зміни швидкості обертання їх роторів. Якщо відома зміна в часі ступеня стиску і продуктивності КС, то для визначення необхідної кількості працюючих нагнітачів та характеру зміни швидкості обертання їх ротора необхідно побудувати математичну модель, яка б зв'язувала вказані параметри. Для побудови такої моделі використано енергетичний підхід та рівняння Ейлера для лопаткових машин. В результаті одержано математичну формулу, що зв'язує основні параметри режиму роботи нагнітача

$$\left(\frac{z_1}{z_2} \varepsilon\right)^{\frac{m-1}{m}} = 1 + \frac{\omega^2}{z_1 R T_1} \left(A - \frac{1}{\omega} \left(B_2 \varepsilon^{\frac{1}{m}} - B_1 \right) \cdot Q_{B1} \right)$$

де: ε - ступінь стиску нагнітача; ω - швидкість обертання ротора; R - газова стала; T - температура газу на вході; Q - продуктивність; m - показник політропи стиску.

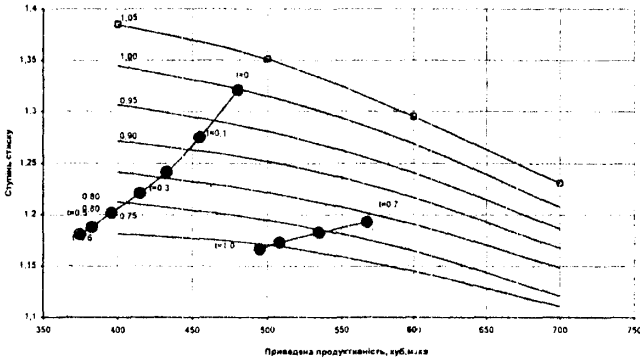


Рисунок 2 Регулювання руху поршня зміною обертів ротора нагнітача

Однак для газопроводу з пересіченим профілем траси керування режимом роботи КС шляхом зміни швидкості обертання ротора може виявитись недостатнім. В зв'язку з цим для обмеження швидкості руху поршня-дефектоскопа при його русі на низхідних ділянках траси запропоновано використати метод зміни технологічної схеми газопроводу, який полягає в під'єднанні лупінга при переході поршня на низхідну ділянку.

Для реалізації запропонованого методу розроблено алгоритм і складено програму розрахунку ступеня зменшення швидкості руху поршня-дефектоскопа в залежності від роду технологічних параметрів та технічних характеристик поршня і газопроводу.

Найбільш сильний вплив на ступінь зниження швидкості руху поршня має довжина лупінга. Причому збільшення довжини лупінга призводить до зростання величини відношення U/U_0 (U_0 - швидкість

поршня при відключеному лупінгу). Іншими словами, з збільшенням довжини лупінга ступінь гальмування руху поршня зменшується. Цей, на перший погляд, парадоксальний висновок з фізичної точки зору пояснюється тим, що при малих довжинах лупінга в момент його під'єднання різко змінюються величини тисків в точках під'єднання.

Збільшення діаметру лупінга призводить до зменшення відношення швидкостей U/U_0 , тобто умови гальмування руху покращуються. Цей висновок очевидний, однак при зміні діаметру з 1000 мм до 1400 мм відношення швидкостей U/U_0 зменшується на 1.28 %, в той час, коли збільшення відносної довжини лупінга з 0.1538 до 0.4615 (тобто на 100 %) призводить до зростання вказаного співвідношення швидкостей на 27.8%.

З параметрів режиму роботи газопроводу в період руху поршня оцінювався вплив початкового і кінцевого тисків на ступінь зменшення швидкості поршня. Встановлено, що зменшення початкового і збільшення кінцевого тисків призводить до зменшення співвідношення швидкостей U/U_0 , тобто до покращення умов гальмування. Так, при зменшенні початкового тиску з 7.6 до 6.8 МПа відношення швидкостей зменшується на 2 %, а при зростанні кінцевого тиску з 5.0 до 5.8 МПа вказане відношення зменшується на 1.38 %, отже зменшення початкового тиску більш ефективне, ніж збільшення кінцевого тиску.

Динаміка руху поршня оцінювалась перепадом тисків ΔP на рухомій границі. При збільшенні перепаду тисків ступінь зменшення швидкості знижується, тобто умови гальмування покращуються, що відповідає фізичним уявленням про картину процесу. Збільшення перепаду тисків з 0.05 МПа до 0.15 МПа (тобто в 3 рази) призводить до зменшення співвідношення швидкостей U/U_0 на 16.5%.

В четвертому розділі розроблено методику розрахунку режиму роботи газопроводу в період внутрішньотрубного його діагностування.

В основу розрахункових залежностей покладено математичні моделі стаціонарної течії газу в газопроводі. Розрахунок запропоновано вести методом зміни стаціонарних станів. Для цього весь період процесу розбивається на дискретні проміжки часу, на кінець кожного з яких рух газу в газопроводі вважається стаціонарним.

Як вихідні дані задаються: фізичні властивості газу, геометричні характеристики газопроводу (в тому числі профіль траси), характеристики інтелектуального поршня, тиски на вході в початкову компресорну станцію і в кінці лінійної ділянки і тип обладнання КС.

Суть методики розрахунків зводиться до того, що при відомому тиску в кінці лінійної ділянки P_k і заданій швидкості руху поршня U на кожен дискретний момент часу визначається тиск перед рухомих пристроєм

$$P_- = P_k \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\lambda \cdot (L - Ut) \cdot U^2}{dzRT}}}$$

Перепад тиску на рухомій границі визначається силою тертя ущільнюючих елементів поршня до стінок трубопроводу і силою гравітації. Тоді тиск на поршень з сторони запоршневого простору

$$P_* = P_- + \frac{4(S + mg)}{\pi d^2}$$

Тиск на початку лінійної ділянки в даний момент часу

$$P_n = P_* \sqrt{1 + \frac{\lambda Ut}{dzRT}}$$

При відомих тисках і віддалі до поршня на кожен момент часу витрата газу на початку ділянки може бути знайдена з основного рівняння газопроводів.

Таким чином можна побудувати залежності зміни тиску і витрати газу на початку лінійної ділянки в часі, при яких буде досягнута задана швидкість руху поршня. Це дасть змогу прогнозувати режим роботи початкової КС на період руху інтелектуального поршня.

На основі розробленої методики прогнозувався режим роботи КС Долина газопроводу "Братерство" в процесі проведення внутрішньотрубного діагностування. Результати вимірювань фактичних параметрів руху поршнів в порівнянні з прогнозними їх величинами підтверджують адекватність розробленої методики.

ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

1. Виконані теоретичні та експериментальні дослідження дозволили розв'язати важливу науково-технічну задачу забезпечення внутрішньотрубного діагностування лінійних ділянок магістральних газопроводів з пересіченим профілем траси інтелектуальними поршнями, при яких досягається високої вірогідності отриманої інформації про пошкодження трубопроводу.

2. На основі аналітичних досліджень динаміки руху поршнів по газопроводу під тиском газу встановлено, що характер профілю траси газопроводу необхідно враховувати при розрахунках, якщо геометричний ухил низхідної ділянки перевищує 0.0005. В таких випадках при проходженні поршнем екстремальних точок траси співвідношення його швидкостей на висхідних і низхідних ділянках може змінюватись до 10 разів при зміні геометричного ухилу від 0.001 до 0.005, що суттєво впливає на вірогідність інформації про пошкодження трубопроводу.

3. На основі створеної математичної моделі і запропонованого методу її реалізації побудовано характер руху інтелектуального поршня по газопроводу і одержано зміну параметрів нестационарного термогазодинамічного режиму роботи газопроводу. Аналіз результатів досліджень показав, що нехтування температурним режимом і профілем траси газопроводу не призводить до суттєвих похибок в результатах розрахунків, а визначені числові значення критеріїв нестационарності і Струхала вказують припустимість застосування моделей стаціонарної течії газу для адекватного опису газодинамічного процесу.

4. Запропоновано математичну модель компресорної станції, використання якої в комплексі з газодинамічною моделлю лінійної ділянки газопроводу дозволяє реалізувати метод регулювання режиму роботи газопроводу шляхом зміни швидкості обертання ротора газоперекачувальних агрегатів з метою забезпечення необхідних для діагностування умов руху інтелектуального поршня. Адекватність використання математичних моделей підтверджено результатами промислових досліджень при проведенні дефектоскопічних робіт на газопроводі "Братерство".

5. Для діагностування складних газотранспортних систем запропоновано метод регулювання швидкості руху інтелектуальних поршнів по газопроводу з пересіченим профілем траси, який полягає в зміні технологічної схеми лінійної ділянки шляхом підключення лупінга. Одержані числові та аналітичні залежності показують, що запропонований метод регулювання може забезпечити зменшення швидкості руху інтелектуального поршня на низхідних ділянках до 27%.

Розроблено галузеву методику прогнозування процесу діагностування газопроводів за допомогою інтелектуальних поршнів в складних трасових умовах, алгоритми і програми системи регулювання режиму роботи газопроводу в період пропуску інтелектуальних поршнів, яка була апробована при проведенні обстежень газопроводу "Братерство", що дозволило одержати економічний ефект від впровадження в розмірі 111 тисяч грн.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних працях:

1. Грудз В.Я., Грудз Я.В. Вибір оптимальних стратегій та параметрів обслуговування газоперекачувальних агрегатів// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Вип.32.- 1995.- С.26-29
2. Грудз В.Я., Грудз Я.В.,Фейчук В.Д. Математичні моделі для діагностування гідравлічного стану газових мереж// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Вип.35.- 1998.- С.218-221
3. Грудз В.Я., Грудз Я.В.,Фейчук В.Д. Діагностування малих витоків з трубопроводу// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Вип.36.- 1999.- С.42-44
4. Грудз В.Я., Грудз Я.В. Методика параметричного діагностування стану відцентрового нагнітача //Нафтова і газова промисловість.- 1996.- №4 - С.29-30
5. Грудз В.Я., Бакаєв В.В., Грудз Я.В., Розен Г. Математичне моделювання руху інтелектуального поршня по газопроводу // Нафтова і газова промисловість -2000.- №4- С.46-48
6. Грудз В.Я., Бакаєв В.В., Грудз Я.В., Розен Г. Регулювання руху інтелектуального поршня зміною технологічної схеми лінійної ділянки//Нафтова і газова промисловість.- 2000.- №1- С.44-46
7. Грудз В.Я., Грудз Я.В.Оптимальне планування режимів роботи газотранспортних систем в умовах багатокритеріальності // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Вип.32.- 1995.- С.12-15
8. Грудз Я.В. Модель технічного обслуговування газотранспортних систем.// Матеріали науково-практичної конференції «Шляхи підвищення якості підготовки спеціалістів для будівництва та експлуатації систем трубопроводного транспорту». -Івано-Франківськ, -1998.- С.45
9. Грудз Я.В., Гімер Р.Ф. Роль ПСГ в підвищенні надійності транзиту газу Трансукраїнськими газопроводами // Тези доповіді конференції професорсько-викладацького складу ІФДУНГ. -Івано-Франківськ, - 1997.- С. 42
10. Грудз В.Я., Грудз Я.В.Моделирование газодинамических процессов в центробежном нагнетателе// Матеріали 3 науч.-техн. конф. "Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта".- Минск, -2000.- С.54-56.
11. Грудз В.Я., Грудз Я.В. Аналіз руху поршнів по трасі газопроводу "Братерство" // Матеріали 6 міжнародної наук.-практ. конференції "Нафта і газ України - 2000", -Івано-Франківськ, -2000. - С. 36-38.

АНОТАЦІЯ

Грудз Я.В. Розробка методів регулювання режиму роботи газопроводів в процесі їх діагностування інтелектуальними поршнями. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 - Нафтогазопроводи, бази та сховища. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2001.

Дисертацію присвячено розробці методів регулювання режиму роботи газопроводу в процесі внутрішньотрубного діагностування, з метою забезпечення неспотвореної інформації про реальний стан трубопроводу. Проведено дослідження впливу профілю траси на кінематику руху поршня та нестационарних газодинамічних процесів в газопроводі. Запропоновано методи регулювання характеру руху поршня зміною швидкості обертання ротора нагнітачів на компресорній станції та технологічної схеми лінійної дільниці. Розроблено методику розрахунку режиму роботи газопроводу в процесі діагностування.

Ключові слова: регулювання, поршень, діагностика

АННОТАЦИЯ

Грудз Я.В. Разработка методов регулирования режима работы газопроводов в процессе их диагностирования интеллектуальными поршнями. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 - Нефтегазопроводы, базы и хранилища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2001.

Диссертация посвящена разработке методов регулирования режима работы газопровода в процессе внутритрубного диагностирования с целью обеспечения неискаженной информации о реальном состоянии трубопровода. Проведено исследования влияния профиля трассы на кинематику движения поршня и нестационарных газодинамических процессов в газопроводе. Предложено методы регулирования характера движения поршня изменением скорости вращения ротора нагнетателей на компрессорной станции и технологической схемы линейного участка. Разработана методика расчета режима работы газопровода в процессе диагностирования.

Ключевые слова: регулирование, поршень, диагностика.

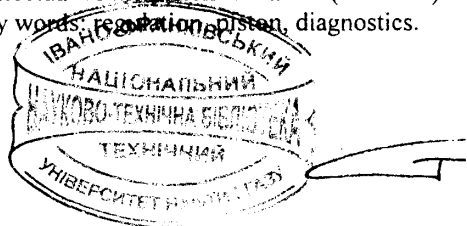
ABSTRACT

Grudz Y.U. Development of methods of regulation of mode of operations of gas pipelines during their diagnosing by intellectual pistons. - Manuscript.

The dissertation on reception of a scientific degree of the candidate of engineering science behind a speciality 05.15.13 - Petroleum and gas pipe, base and storehouse. The Ivano-Frankovsk national technical university of petroleum and gas. Ivano-Frankivsk, 2001.

The dissertation is devoted to development of methods of regulation of mode of operations of a gas pipeline in process insideping of diagnosing with the purpose of maintenance of the undistorted information about a real condition of the pipeline. Is carried out (spent) researches of influence of a structure of a line on kinematics of movement of the piston and non-stationary gas dynamics of processes in a gas pipeline. Is established, that the structure of a line essentially influences speed of movement of the piston and practically does not render influence on character of gas dynamics process. Besides the analysis of a degree unsteadity is carried out(spent) through criteria Struhalya and unsteadity, which has shown, that for modeling character of movement of gas in a gas pipeline the stationary models can be used. This conclusion is fixed in a basis of modeling of technological process of insideping diagnostics and development of methods of regulation of mode of operations of a gas pipeline . It is offered methods of regulation of character of movement of the piston by change of speed of rotation of a rotor compressors at compressor station and technological circuit of a linear sectore consisting in connection parallel pipe to a main pipeline at movement of the piston on downcast sector of a main pipeline, that will allow to lower speed of movement of the piston. The technique of account of mode of operations of a gas pipeline is developed during diagnostics allowing to predict character of submission of gas in a gas pipeline, at which the constancy of speed of movement intellectual of the piston is reached(achieved).

Key words: regulation piston, diagnostics.



as234