

622.691.4(045)
Дд1

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу

ДАЦЮК Андрій Володимирович



УДК 622.691.4.004.67

**ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ
СИСТЕМ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГОВИТРАТ НА ТРАНСПОРТ**

05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м Івано-Франківськ – 2012



Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Грудз Ярославович Володимирович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтосховищ

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Тимків Дмитро Федорович**, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри інформатики, (м. Івано-Франківськ).

кандидат технічних наук **Драгілев Андрій Володимирович**, приватне підприємство «Інжинірингові технології», директор (м. Київ)

Захист відбудеться 31 травня 2012 р. о 10 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.04 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розісланий 28 квітня 2012 р.

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

Пилипів Л.Д.



АЛЬНА 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 нештатних 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; до аналогічних наслідків призводить зменшення або збільшення підкачування газу, раптове включення чи виключення компресорних станцій (КС).

Перехідні режими роботи газопроводу супроводжуються зміною тиску, яка порушує нормальну роботу його системи та виникненням інерційних гідравлічних втрат в потоці газу, що призводить до перевитрат енергії на транспорт.

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 значний, 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.

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 «Концепція розвитку, модернізації і переоснащення газотранспортної системи України на 2009 – 2015 роки».

Мета і задачі дослідження. Встановлення закономірностей протікання газодинамічних процесів у складних системах газопроводів з урахуванням термодинамічних факторів та розробка рекомендацій зменшення енерговитрат на транспорт газу.

Вказана мета досягається реалізацією наступних завдань:

1. Проведення досліджень термогазодинамічних процесів у складних системах і впливу термогазодинамічних факторів на закономірності руху потоків газу і характеру гідравлічного опору.

2. Встановлення взаємозв'язків між параметрами режимів роботи газопроводу і витратами енергії на транспорт газу для газопроводів та ГТС.

3. Статистичні дослідження впливу гідравлічної ефективності лінійних ділянок газопроводів на ступінь раціонального використання енергоресурсів на транспорт газу.

4. Аналітичні та експериментальні дослідження дисипації енергії при трубопровідному транспорті газу і оцінка впливу на довкілля.

Об'єкт дослідження. Складні системи газотранспортних магістралей.

Предмет дослідження. Енергоефективність газових потоків при нестационарних неізотермічних і квазістационарних режимах роботи 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 – Закономірності впливу нестационарних неізотермічних і квазістационарних процесів у складних газотранспортних системах на енерговитратність трубопровідного транспорту газу.

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

1. Дана оцінка впливу термогазодинамічних факторів на закономірності руху потоків газу і характер гідравлічного опору.

2. Встановлено залежності впливу параметрів технологічних режимів газотранспортних систем на енергетичні затрати на транспортування газу.

3. На основі статистичних досліджень встановлено взаємовплив гідравлічної ефективності лінійних ділянок та міри раціонального використання енергоресурсів на транспорт газу.

4. На основі аналітичних та експериментальних досліджень дано оцінку ступеня дисипації енергії при трубопровідному транспорті газу.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична значимість проведених наукових і експериментальних досліджень полягає в удосконаленні методів керування складними ГТС з урахуванням енергетичних витрат на трубопровідний транспорт газу. На основі результатів досліджень створено методику 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 сталої, 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 ефективність використання енергоресурсів при трубопровідному транспорті газу [2,5,7].

2.Встановлено характерні взаємозв'язки між гідравлічною ефективністю газопроводу і енерговитратами на транспорт газу, дана статистична оцінка енерговитрат на транспорт газу магістральними газопроводами [1,4]

3.Запропоновано нестационарну математичну модель розповсюдження тепла в навколишньому середовищі від теплового джерела газопроводу,проведені результати фізичного моделювання.[2].

4.Здійснено ряд експериментальних досліджень в результаті яких отримано закономірності формування температурного поля навколо нагрітого газопроводу, адекватність моделі доведено порівнянням прогнозних параметрів з фактичними, даними, отриманими на фізичній моделі газопроводу [6].

5.На енергетичному рівні створено математичні моделі елементів газотранспортного комплексу – лінійних ділянок і компресорних станцій - та запропоновано методикку синтезу моделі магістрального газопроводу як єдиної енергосистеми, реалізація якої і адаптація її до умов газопровідної системи України дозволяє суттєво скоротити енергозатрати на транспорт. [5,8].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались:

- на Міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці (ФНТУНГ-40)” (Івано-Франківськ, 2007);
- на Науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 2009-2011);
- на координаційній нараді з питань експлуатації магістральних газопроводів УМГ Прикарпаттрансгазу (Івано-Франківськ, 2009);
- на науковому семінарі кафедри спорудження та ремонту нафтогазопроводів і нафтогазосховищ (Івано-Франківськ, 2011);
- на розширеному семінарі за спеціальністю 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища (Івано-Франківськ, 2011).

Публікації. По темі дисертації опубліковано 8 друкованих робіт; із них 6 у фахових виданнях.

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 130 сторінках машинного тексту.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено актуальність проблеми, її зв'язок з науковими програмами, планами, темами, приведено мету і задачі досліджень, положення, що виносяться на захист, їх наукову новизну та практичну цінність, особистий

внесок здобувача в проведенні досліджень, а також відомості про апробацію роботи, її структуру і обсяг, та публікації.

Перший розділ присвячено аналізу літературних джерел з проблеми та конкретизації завдань досліджень.

Газотранспортна система України (ГТС) складається з 37,6 тис. км газопроводів різного призначення та продуктивності, 73 компресорних станцій із 110 компресорними цехами, де встановлено 703 газоперекачувальні агрегати загальною потужністю 5,4 тис. МВт, 1607 газорозподільних станцій, 13 підземних сховищ газу загальною місткістю за активним газом понад 32,0 млрд. м³ та об'єкти інфраструктури.

Споживання природного газу в Україні 2010 року порівняно з 2009-м зменшилося на 4,1 млрд. кубометрів. Однак, наша держава стабільно посідає місце в першій десятці країн світу за обсягом споживання природного газу і третє місце — за обсягами його імпорту. Україна закуповує 50—55 млрд. м³ газу на рік, або 71% від його загальних обсягів споживання. Тобто частка імпорту в газовому балансі України критично висока. При цьому держава витрачає великі кошти на закупівлю газу. Якщо в 2007 році газ коштував Україні 6,5 млрд. дол. (ціна тисячі кубометрів газу становила 130 доларів), то в 2008-му — вже понад 9 млрд. дол. (179,5 дол. за тисячу кубометрів). Залежність від одного джерела газопоставок порушує баланс енергетичної безпеки і ставить економіку України в надмірну залежність від тенденцій зовнішньоекономічної політики Росії.

Очевидно, що енерговитратність на транспортування газу залежить від режимів експлуатації газопроводів та їх технічного стану. Тому зниження гідравлічних втрат при русі потоків газу в трубах призведе не тільки до зменшення витрат на транспортування газу, але й до збільшення пропускної здатності системи.

Дослідженням режимів роботи газопроводів присвячено ряд наукових праць як вітчизняних науковців, так і вчених країн СНД, далекого зарубіжжя. Це результати досліджень С. А. Бобровського, Е. Л. Вольського, З. Т. Галуліліна, В. Я. Грудза, І. Е. Ходановича, В. І. Чернікіна, І. А. Чарного, С. Г. Щербакова, Є. І. Яковлева та інших. У цих роботах подано методи розрахунку нестационарних режимів роботи газопроводів, розв'язання обернених задач, прогнозування часу і параметрів нестационарного процесу. Однак автори не надавали особливої уваги оптимізації режимів роботи ГТС із врахуванням втрат енергії при транспортуванні газу та стану лінійних ділянок і компресорних станцій, що призводить до зменшення енергозатрат на транспорт газу для газотранспортної системи.

В другому розділі приведено аналіз математичних моделей моделей, що описують рух газу в газопроводі, та впливу технологічних факторів на характер термогазодинамічних процесів.

Аналіз моделей руху газу в трубах показав, що лінеаризація рівняння руху газу дозволяє отримати аналітичні розв'язки математичних моделей для багатьох практично важливих технологічних ситуацій нестационарного руху газу в трубопроводі. Проаналізовано різні варіанти лінеаризуції рівняння руху газу для

різноманітних технологічних процесів. На основі проведеного аналізу встановлено, що лінеаризація призводить до незначної похибки в розрахунках (менше 0,5%), яка несуттєво залежить від способу лінеаризації

Проведено аналіз впливу коефіцієнта стисливості газу на точність прогнозних розрахунків пропускної здатності газопроводу. При цьому враховувався вплив на величину коефіцієнта стисливості фізичних властивостей і складу природного газу та параметрів роботи газопроводу. Встановлено, що врахування залежності коефіцієнта стисливості газу від його властивостей і тиску має суттєвий вплив при великих відборах газу.

Вплив місцевих опорів доцільно враховувати інтегральною зміною коефіцієнта гідравлічного опору.

Стосовно нестационарних перехідних процесів можливий підхід, який передбачає використання методу зміни стаціонарних станів, при якому для ідентифікації трубопроводів можна використовувати співвідношення, що характеризують стаціонарний рух газу. Дані співвідношення є достатньо простими у використанні і виключають динамічну похибку. Тим самим, при зміні режиму роботи трубопроводу необхідно достатньо точно визначати час переходу з одного стаціонарного режиму на інший. Якщо ж реальні дані отримуються при перехідних процесах, то для ідентифікації стану системи необхідно використовувати нестационарні моделі течії газу, які б з достатньою для практики точністю описували процес.

Третій розділ присвячено дослідженням енергетичних втрат при транспортуванні газу магістральними газопроводами.

Магістральний газопровід як складна технічна система характеризується значною протяжністю і великою енергоємністю. Тому навіть невеликий відсоток заощадження чи перевитрати енергоресурсів призводить до значної економії чи збитків. В зв'язку з цим для контролю за витратою енергії необхідно передбачити показник чи критерій, величина якого розрахована за фактичними параметрами режиму роботи газотранспортної системи, дозволила б судити про міру корисного використання енергоресурсів і вказувала б на шляхи скорочення непродуктивних енерговитрат.

Слід зауважити, що при оцінці ефективності використання двигунів на компресорних станціях (як газотурбінних, так і електричних) здавна прийнято використання ККД машини, і це дало змогу ранжувати двигуни в ряд за принципом корисного використання енергії, що в свою чергу дозволило створити конкурентоздатний ряд газоперекачувальних агрегатів, яким користуються при проектуванні компресорних станцій, зокрема при виборі їх обладнання. Однак, такий підхід вирішує лише часткову задачу економії енергоресурсів при транспорті газу, оскільки кінцевою метою є не процес компримування газу, а більш загальний процес його транспортування. Тому підхід до оптимізації компримування газу ще не вирішує більш загального підходу до оптимізації процесу його транспортування. Більше того, ККД системи повинен бути основним (або одним із основних) критерієм оптимальності процесу обслуговування чи керування режимами газотранспортної системи, оскільки

стратегія оптимізації технологічного процесу чи технічного рішення не може вважатися задовільною, якщо вона призводить до зниження ККД системи.

Газотранспортна система призначена для перекачування газу на певну віддаль з заданою продуктивністю і при заданих умовах (теоретичних) режиму роботи. Іншими словами, корисною може вважатися робота виконана для переміщення заданої кількості газу на певну віддаль при обумовлених величинах тисків і температур. Загальна підведена енергія до потоку газу дорівнюватиме сумарній енергоємкості паливного газу, використаного для приводу нагнітачів (у випадку ГПА з газотурбінним приводом) або загальній потужності електродвигунів (у випадку ГПА з електроприводом).

Виходячи з зазначеного принципу формування ККД газотранспортної системи одержано формулу для його обчислення

$$\eta = \frac{Q_{cm}}{q_{nc}} \cdot \frac{P_{cm}}{P_{cp}} \cdot \frac{T_{cp}}{T_{cm}} \cdot z_{cp} \cdot \frac{(P_n - P_k)}{Q_p^H} \quad (1)$$

де Q_{cm} і q_{nc} - витрата транспортованого та паливного газу; P_{cp} ; T_{cp} - середні значення тиску і температури на ділянці газопроводу; P_n ; P_k - тиски на початку і в кінці ділянки газопроводу; Q_p^H - теплотворна здатність газового пального.

Для апробації запропонованої методики розрахунку ККД газопроводу, оцінки його величини та аналізу залежностей від параметрів режиму перекачування виконано розрахунки для гіпотетичного газопроводу, по якому перекачується метан і який складається з однієї лінійної ділянки діаметром 1420x20 мм і довжиною 127 км, та компресорної станції, обладнаної газоперекачувальними агрегатами ГТН-25І з відцентровим нагнітачем 650-24-11. Розрахунки проводилися для різних умов роботи газопроводу, за результатами побудовано графічні залежності, які подано на рисунку 1.

Як видно з графіків, збільшення витрати газу по газопроводу призводить до зменшення ККД газотранспортної системи. Цей висновок на перший погляд парадоксальний. Адже, відповідно до (1) при збільшенні витрати Q_{cm} , яка знаходиться в чисельнику, величина ККД повинна зростати. Однак, величина витрати паливного газу q_{nc} зростає стрімкіше, що в кінцевому підсумку викликає зниження ККД. Таке співвідношення між витратою газу по газопроводу і витратою паливного газу спостерігається завдяки низьким значенням ККД газотурбінних установок, тобто завдяки малоєфективному використанню енергії паливного газу. Якщо умовно припустити, що ККД ГТУ збільшився з 28,8% до 60%, то крива залежності ККД газопроводу від витрати газу матиме максимум, який при подальшому збільшенні ККД ГТУ буде зміщуватися в сторону вищих значень витрати газу по газопроводу.

При русі газового потоку в трубопроводі потенціальна енергія тиску перетворюється в кінетичну енергію, яка завдяки роботі сил тертя в свою чергу перетворюється у внутрішню енергію, дисипація котрої в навколишнє середовище спостерігається у вигляді теплового потоку.

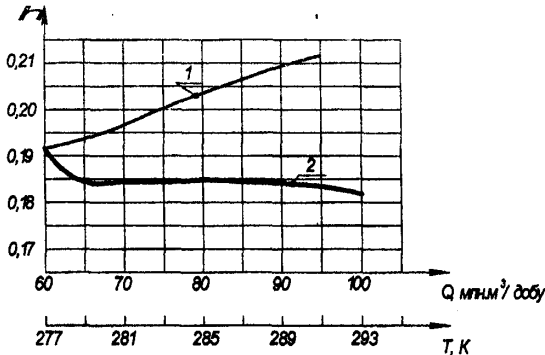


Рисунок 1 - Залежність ККД газопроводу від кінцевої температури (1) та від витрати транспортованого газу (2)

Отже, величина теплового потоку від газу в довкілля визначає міру розсіювання внутрішньої енергії газу і повинна впливати на ККД газопроводу. В наведеному прикладі експлуатації гіпотетичного газопроводу зміна теплового потоку в довкілля може моделюватися зміною температури газу в кінці газопроводу: чим більша кінцева температура газу, тим менший тепловий потік в навколишнє середовище. Як видно з графіка (рисунок 1), зростання кінцевої температури газу призводить до збільшення ККД газопроводу, що відповідає уявленням про збереження і перетворення енергії газового потоку.

Потенціальна енергія одиниці об'єму газового потоку пропорційна середньому тиску в даному об'ємі газу, а дисипація енергії в цьому об'ємі газу пропорційна лінійній швидкості руху газу. Тому відношення середньої швидкості руху газу до середнього тиску в газопроводі може бути середньою питомою величиною дисипації механічної енергії. Розглядаючи в одному комплексі втрати внутрішньої і механічної енергії газового потоку можна перейти до критерію, що характеризує загальну дисипацію енергії.

$$\Lambda = \frac{k(T_{cp} - T_{sp})\overline{W}}{C_p \cdot T_{cp} \cdot P_{cp}} \quad (2)$$

Коефіцієнт корисної дії газопроводу характеризується також втратами енергії газу. Тому повинна існувати кореляція коефіцієнта корисної дії з коефіцієнтом гідравлічної ефективності.

За результатами натурних вимірювань основних параметрів роботи газопроводу за період 2008-2010 рр. визначені коефіцієнти корисної дії газопроводів "Братерство" на ділянці Долина-Россош, "Союз" на ділянці Богородчани-Хуст і Уренгой-Помари-Ужгород на ділянці Богородчани-Голятин. Для тих же моментів часу обчислені значення приведенного вище безрозмірного комплексу Λ . Результати розрахунків приведені у вигляді графіків на рисунку 2.

Як і можна було чекати із збільшенням параметру Λ величина коефіцієнта ефективності знижується. Це відповідає фізичним уявленням про розсіювання енергії.

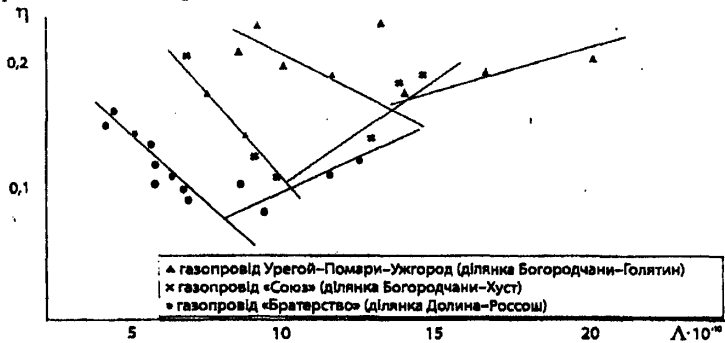


Рисунок 2 - Залежність коефіцієнта корисної дії від безрозмірного комплексу Λ

Проте, починаючи з визначеної величини комплексу Λ з його збільшенням коефіцієнт корисної дії зростає. Цей факт має своє фізичне обґрунтування. Річ у тому, що збільшення параметра відбувається за рахунок зростання лінійної швидкості газового потоку, або за рахунок зниження середньої температури газу, що транспортується, або через зміну обох параметрів в комплексі. Збільшення лінійної швидкості газового потоку призводить до збільшення гідравлічних втрат в місцевих опорах, утворених пробками скупчень рідини, а отже, до зниження гідравлічної ефективності, і, як наслідок, до зменшення коефіцієнта корисної дії. Крім того, збільшення лінійної швидкості руху газу призводить до високої турбулізації потоку і появи так званої наведеної шорсткості. Проте починаючи з деякої межі, із збільшенням лінійної швидкості руху газу починається винесення рідини з газопроводу. Цей процес починається при лінійних швидкостях близько 17 м/с, що в реальних умовах не спостерігається. Але, як показують досліді, при лінійних швидкостях, які перевищують 6-8 м/с, відбувається "вितिрання" внутрішньої поверхні стінки труби струменем газового потоку від наведеної шорсткості.

Зниження коефіцієнта корисної дії при зростанні параметра Λ , слід розглядати таким чином: із зростанням теплопередачі в навколишнє середовище (із збільшенням ступеня дисипації енергії) гідравлічна ефективність знижується. Так при збільшенні параметра Λ на 10%, для газопроводу "Братерство", коефіцієнт ефективності знижується на 3.7%, а ККД – 2.2%. Для газопроводу "Союз" величина зниження ефективності в цьому випадку складає 1.8%, а ККД – 1,2% для газопроводу "Уренгой-Помари-Ужгород" зниження ефективності 0.9%, а ККД – 0,5%. Очевидно, тепловтрати для різних газопроводів по різному впливають на гідравлічну

ефективність, і, як наслідок, на коефіцієнт корисної дії, але тенденція зниження ККД при збільшенні теплових втрат є загальною.

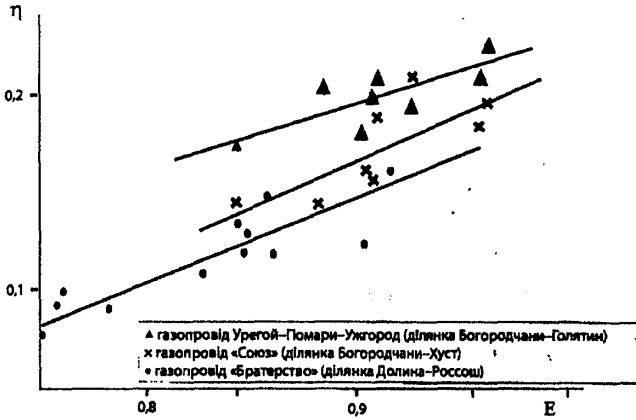


Рисунок 3 - Залежність коефіцієнта корисної дії від гідравлічної ефективності

Таким чином, неврахування характеру і ступеня зміни внутрішньої енергії газу приводить до занижених значень коефіцієнта гідравлічної ефективності і збільшує його дисперсію навколо середнього значення.

Як відомо, оцінка міри нестационарності газового потоку в газопроводі може бути дана, виходячи з числового значення критерію нестационарності N_r ,

Технологічний режим роботи газопроводу вважається квазістационарним в тому випадку, якщо величина критерію нестационарності складає $N_r < 1,4 \cdot 10^{-6}$. В іншому випадку режим руху газу вважається нестационарним, і з зростанням величини критерію нестационарності міра нестационарності потоку (тобто ступінь впливу інерційних сил) збільшується.

За даними аналітичних досліджень нестационарного руху газу в гіпотетичному газопроводі обчислено критерій нестационарності. Для кожного з режимів розраховувалося значення ККД газопроводу, при цьому враховувалася дія виключно сил інерції в потоці. Очевидно, що максимальне значення ККД η_0 відповідає нульовому значенню критерію нестационарності потоку. Тоді кожен нестационарний режим оцінювався відносною величиною ККД

Таким чином побудовано залежність величини відносного ККД газопроводу від критерію нестационарності, яка у вигляді графіка приведена на рисунку 4

З графіка видно, що при квазістационарних режимах течії газового потоку в трубах ($N_r < 1,4 \cdot 10^{-6}$) інерційні сили виконують незначний обсяг роботи, що призводить до зниження відносного ККД газопроводу на величину до 2%. Зростання критерію нестационарності викликає збільшення обсягу роботи сил інерції в газовому потоці, що призводить до зниження величини відносного ККД газопроводу.

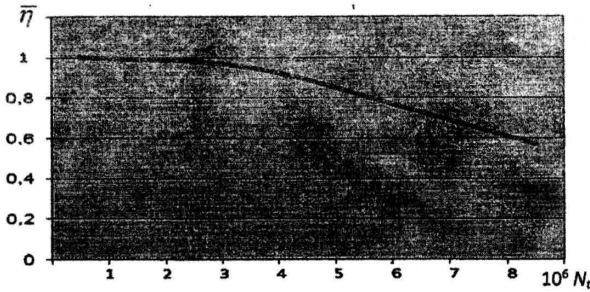


Рисунок 4 - Залежність ККД газопроводу від критерія нестационарності

Так, при значенні критерія нестационарності $N_f=2,0 \cdot 10^{-6}$ величина відносного ККД зменшується на 19%, а при досягненні значення критерія нестационарності $N_f=2,6 \cdot 10^{-6}$ зниження відносного ККД досягає 43%. На практиці режими експлуатації газопроводів з такими великими значеннями критерію нестационарності зустрічаються рідко, проте слід мати на увазі, що інерційні сили в газовому потоці можуть призвести до суттєвого зниження ККД газопроводу, тому експлуатація газопроводів найбільш ефективна при стаціонарних та квазістаціонарних режимах.

Четвертий розділ присвячено дослідженням температурного поля, що створюється діючим газопроводом та розробці програмного комплексу для прогнозування режимів роботи складних газотранспортних систем.

Як відомо, повна енергія потоку газу складається з потенціальної, кінетичної і внутрішньої. На КС газовий потік одержує порцію потенціальної енергії, яка при русі по лінійній ділянці перетворюється в кінетичну і за рахунок роботи сил тертя переходить у внутрішню, зовнішньою мірою якої є температура газу. Отже температура газу повинна б зростати по довжині лінійної ділянки. Однак за рахунок розширення газу і теплообміну з зовнішнім середовищем відбувається розсіювання енергії, яка призводить до безповоротних її втрат. Тому дослідження температурного режиму газопроводів мають велике значення в плані ефективності використання енергії в трубопровідному транспорті газу.

Для оцінки енергетичного стану газопроводу як складної системи необхідно встановити, яка частина загальної енергії перетворюється у внутрішню в процесі транспортування і розсіюється у довкілля, що допоможе визначити коефіцієнт корисної дії газопроводу.

Для температури ґрунту, яка створюється постійно діючим лінійним джерелом тепла потужності q , отримано залежність від просторових координат і часу. Кількість тепла, яке акумулюється в ґрунті, можна визначити як різницю між теплом, яке виділяється трубою за даний відрізок часу $Q_в$, і втратами тепла в навколишнє середовище з поверхні ґрунту за цей ж час $Q_н$.

Враховуючи тепловіддачу з поверхні одиниці довжини труби за час τ та втрати тепла в навколишнє середовище за законом Фур'є можна знайти кількість енергії, що віддається довкіллю, і розподіл температур в ґрунті.

$$p = 1 - \left(1 + \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{Hh \cdot F_0} + \frac{1}{H^2 h^2 \cdot F_0} \right) \left[1 - \Phi \left(\frac{1}{2\sqrt{F_0}} \right) \right] + \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot F_0}} \left(1 + \frac{2}{Hh} \right) e^{-\frac{1}{4F_0}} \quad (5)$$

З аналізу отриманої залежності випливає, що кількість акумульованого тепла є функцією глибини залягання трубопроводу, теплофізичних характеристик ґрунту, часу роботи трубопроводу і тепловіддачі з поверхні одиниці довжини труби. За формулою (5) було обчислено кількість тепла, акумульованого навколо труб в ґрунті для умов, які відповідають даним випробувального полігону, змонтованого на ділянці Богородчани - Хуст газопроводу СОЮЗ.

Експерименти проводилися на випробувальному полігоні, створеному на базі ділянки газопроводу СОЮЗ, заглибленого на глибину 1,46 м до верхньої твірної труби довжиною 1013 м. Нагрівання труб здійснювалось газовим потоком, температура якого в різні моменти часу експлуатації була різною в залежності від температури довкілля, ступеня стиску КС та режиму роботи АПО. Температури ґрунту та труб вимірялись хромель-копелевими термопарами з електронними потенціометрами типу ЄПП-09. Термопарами охоплювались перерізи розміром 3×9 м. У зоні проходження труби встановлено близько 100 термопар. Таким чином, на кожний момент часу вимірювалось температурне поле ґрунту, що дозволило оцінити зона впливу теплового джерела (в межах точності показів термопар). Крім цього, в процесі випробувань фіксувалось температура ґрунту в непорушеному теплового стані за допомогою витяжних ґрунтових термометрів на різних глибинах і температури повітря.

За даними вимірів були побудовані графіки зміни температури в часі і за радіальними напрямками (угору і вниз від труби), а також по горизонтальному радіусу. Таким чином, на кожний момент часу визначалась кількість акумулюючого тепла в ґрунті на одиницю довжини труби.

На внутрішній границі площі температура рівна температурі поверхні труби, на зовнішній границі – температурі ґрунту в природному стані T_0 . За відомих температур ґрунту і зони впливу джерела шляхом інтегрування визначалась кількість тепла, акумульовану ґрунтом навколо трубопроводу. Графік процесу акумуляції тепла представлений на рисунку 5.

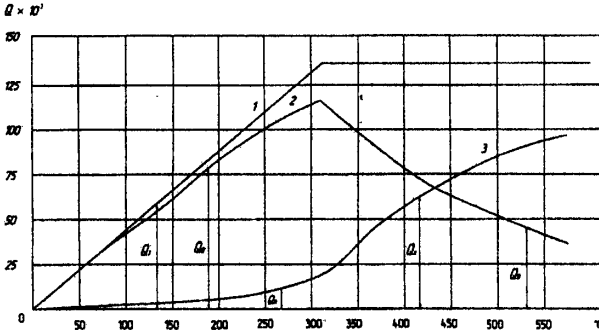


Рисунок 5 - Процес акумуляції тепла

На рисунку 5 пряма 1 характеризує кількість тепла, яке виділяється трубою за час експерименту; крива 2- кількість акумульованого ґрунтом тепла; крива 3- втраги тепла в навколишнє середовище. Збіг результатів обрахунків з експериментом цілком задовільний.

Потенціал енергозбереження в ГТС України пов'язаний з розробкою і впровадженням інформаційних, моделюючих, оптимізуючих і керуючих систем. Максимальне його використання залежить від систем: моделювання і оптимізації режимів формування оптимальних параметрів керування газопотоками; аналізу і керування нештатними ситуаціями; аналізу та оптимізації проектних рішень.

Термогідрравлічний розрахунок ГТС базується на представленні її у вигляді зваженого частково-орієнтованого графа, в вершинах якого зосереджені надходження і відбори. Кожна вершина і ребро має свій тип і параметричний опис. Крім того кожне ребро має свою модель. Основні типи вершин – надходження, відбори, деякий набір місцевих опорів, свердловини, місця з'єднань однотипних або різнотипних об'єктів, інформаційні і т.д. Типи ребер – трубопроводи, запірна арматура, регулятори тиску і витрат, незворотні крани, газоперекачуючі агрегати і об'єкти, для яких суттєвим є їх протяжність і які розрізняють вхід і вихід. Математичний опис системи включає: загальновідомі умови балансу витрати газу, імпульсу і рівність тиску у всіх вершинах; рівняння, яке зв'язує параметри в початковій і кінцевій вершинах кожного ребра чи дуги. Вибір моделі пов'язаний з характером руху газу і поставленою задачею. Розглядаються моделі як з зосередженими, так із розподіленими параметрами. Для стаціонарних процесів знайдено зв'язок між вказаними моделями, що забезпечило високу точність розрахунку параметрів, не збільшуючи час їх розрахунку.

Для стаціонарних і нестаціонарних задач, задач прийняття рішень в реальних умовах функціонування ГТС розроблена інформаційна і алгоритмічна підтримка, набір апробованих моделей і методів. Розроблені алгоритми і методи, включаючи алгоритми роботи з граф-схемами ГТС, є взаємно адаптивними, що пов'язано з параметрами газодинамічних процесів, з точністю результатів, часом моделювання і часом розрахунку. Програмний комплекс призначений для вирішення наступних задач:

- ідентифікація параметрів стану об'єктів, характеру руху газу і адаптація математичних моделей проводиться кожен раз перед проведенням розрахунків режимних параметрів роботи ГТС.

- моделювання роботи ГТС проходить при відомих параметрах газу на вході і виході системи і встановлених (ідентифікованих) термогідрравлічних параметрах об'єктів і відомих параметрах запірної і регулюючої арматури.

- задачі планування прогностичних режимів роботи ГТС і його підсистем формуються як оптимізаційні.

Кожен критерій оптимальності вимагає свого підходу до розв'язання оптимізаційної задачі. Із набору задач оптимізації слід в окремий клас задач виділити задачі оптимального керування технологічними процесами.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень вирішено важливу науково-практичну задачу, що полягає в встановленні закономірностей газодинамічних процесів у системах газопроводів з урахуванням термодинамічних факторів і дозволяє підвищити енергетичну ефективність транспортування газу, а саме:

1. Результати досліджень термогазодинамічних процесів у складних газотранспортних системах і впливу термогазодинамічних факторів на закономірності руху потоків газу показали, що лінеаризація рівняння руху газу призводить до незначної похибки в розрахунках (менше 0,5%), яка несуттєво залежить від способу лінеаризації; врахування залежності коефіцієнта стисливості газу від його властивостей і тиску має суттєвий вплив при великих відборах газу; вплив місцевих опорів доцільно враховувати інтегральною зміною коефіцієнта гідравлічного опору.

2. Встановлено взаємовплив між параметрами режимів роботи газопроводу і витратами енергії на транспорт газу і показано, що енерговитрати при транспортуванні пов'язані з дисипацією енергії, викликаною дією інерційних сил в потоці та теплообміном з довкіллям, при цьому коефіцієнт корисної дії газопроводу лежить в межах 15 – 25%.

3. Статистичні дослідження впливу гідравлічної ефективності лінійних ділянок газопроводів на ступінь раціонального використання енергії при транспорті газу показали, в залежності від режиму роботи газопроводу зниження коефіцієнта гідравлічної ефективності на 1% призводить до зменшення ККД на величину 0,5 – 2,5%.

4. Аналітичні та експериментальні дослідження дисипації енергії при трубопровідному транспорті газу підтверджують положення про дію інерційних сил на потік та вплив термодинамічної неідеальності газу на величину енерговитрат при перекачуванні. Експериментальна апробація та узагальнення отриманих результатів дозволили створити програмний комплекс для моделювання роботи газотранспортних систем, впровадження якого в практику експлуатації газопроводів ДК «Укртрансгаз» дозволило отримати річний економічний ефект в розмірі 112 тис. грн. на рік.

Основний зміст дисертації опубліковано в наступних виданнях:

1. Грудз В.Я. Ефективність використання енергоресурсів при трубопровідному транспорті газу/ В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, А.В. Дацюк// Нафтогазова енергетика. № 1 (6). – 2008. – С.52–54.
2. Стоцький Ф.І. Математична модель для дослідження створеного газопроводом температурного поля в ґрунті/Ф.І. Стоцький, Я.В. Грудз, А.В. Дацюк та ін.// Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. № 3 (28). – 2008. –С.48–51.

3. Дацюк А.В. Програмний комплекс для моделювання і оптимізації роботи газотранспортних мереж/ А.В.Дацюк, В.А. Фролов, С.В. Гладун та ін.//Матеріали Трьої Міжнародної конференції «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». Львів.: 2008. – С.330–334.
4. Грудз В.Я. Статистична оцінка енерговитрат на транспорт газу магістральними газопроводами/ В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, А.В. Дацюк// Нафтова і газова промисловість. № 1. – 2008. –С.47–49.
5. Притула Н.М. Математичні моделі і методи розрахунку режимів роботи газотранспортної системи України/Н.М. Притула, Я.Д. Пянило, А.В. Дацюк та ін.// П'ята науково-практична конференція з міжнародною участю: Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС '2010 – Київ. –2010. – С.138–139.
6. Грудз В.Я. Визначення кількості тепла, аккумуляованого ґрунтом навколо трубопроводу/В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, А.В. Дацюк та ін.// Нафтогазова енергетика. № 1 (14). – 2011. – С.39–42.
7. Дацюк А.В. Аналіз нестационарного процесу руху газу в трубопроводі/ А.В. Дацюк, Я.Д. Пянило, М.Г. Притула та ін.// Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів. – № 638. –2011. – С.152–157 .
8. Притула Н.М. Оптимізація режимів роботи газотранспортної системи/ Н.М. Притула, М. Г. Притула, А. В.Дацюк та ін.// Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів. – №694. – 2011. – С.395–401.

АНОТАЦІЯ

Дацюк А.В. - Прогнозування режимів роботи газотранспортних систем з урахуванням енерговитрат на транспорт. – 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, 2012.

Дисертацію присвячено встановленню закономірностей протікання газодинамічних процесів у складних системах газопроводів з урахуванням термодинамічних факторів та розробці рекомендацій зменшення енерговитрат на транспорт газу.

В роботі виконано дослідження впливу параметрів режимів роботи магістральних газопроводів на величину енерговитрат на транспортування газу. Для цього створено математичні моделі та приведено результати досліджень з оцінки технологічних режимів газотранспортних систем на енерговитрати, розроблено програмний комплекс прогнозування і оптимізації режимів.

Ключові слова: газотранспортна система, режими експлуатації, енерговитратність коефіцієнт корисної дії, прогнозування.

АННОТАЦИЯ

Дациук А.В. - Прогнозирование режимов работы газотранспортных систем с учетом энергозатрат на транспорт. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 - Трубопроводный транспорт, нефтегазосховища. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. - Ивано-Франковск, 2012.

Диссертация посвящена установлению закономерностей протекания газодинамических процессов в сложных системах газопроводов с учетом термодинамических факторов и разработке рекомендаций уменьшения энергозатрат на транспорт газа.

В работе выполнено исследование влияния параметров режимов работы магистральных газопроводов на величину энергозатрат на транспорт газа. Для этого созданы математические модели и приведены результаты исследований оценки технологических режимов газотранспортных систем на энергозатраты, разработан программный комплекс прогнозирования и оптимизации режимов.

Ключевые слова: газотранспортная система, режимы эксплуатации, энергозатратность коэффициент полезного действия, прогнозирование.

ABSTRACT

Dacyuk A.V. is Prognostication of the modes of operations of the gas-transport systems taking into account expenses of energy on a transport. It is Manuscript.

Dissertation on the competition of graduate degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.15.13 is the Pipeline transport, gas oil storages. Ivano-Francovsk National Technical University of Oil and Gas. It is Ivano-Francovsk, 2012.

Dissertation is devoted establishment of conformities to the law of flowing of газодинамических processes in the difficult systems of gas pipelines taking into account thermodynamics factors and development of recommendations of diminishing of expenses of energy on the transport of gas.

Research of influence of parameters of the modes of operations of main gas pipelines is in-process executed on the size of энергозатрат on the transport of gas. For this purpose mathematical models are created and the results of researches of estimation of the technological modes of the gas-transport systems are resulted on энергозатраты, the programmatic complex of prognostication and optimization of the modes is developed.

On defence conformities to the law of influence of unisothermal and transients dart out in the difficult gas-transport systems on энергозатраты of pipeline transport of gas.

A scientific novelty consists in an optimum management the modes of operations of the difficult gas-transport system on the base of complex theoretical and experimental researches.

The estimation of influence of factors is given on conformities to the law of motion of gas streams and character of hydraulic resistance.

Dependences of influence of parameters of the technological modes of the gas-transport systems are set on power expenses on transporting of gas.

On the basis of statistical researches *взаимовлияние* of hydraulic efficiency of linear areas and measure of the rational use of power resources is set on the transport of gas.

On the basis of analytical and experimental researches the estimation of degree of dispersion energy is given at the pipeline transport of gas.

Practical meaningfulness of the conducted scientific and experimental researches consists in the improvement of methods of management the difficult gas-transport systems taking into account power charges on the pipeline transport of gas. On the basis of results of researches the method of management work of the difficult gas-transport system is created in the conditions of selection and gas pumping application of which is given by possibility to optimize office hours and manage the system on *разных* its stages. A method is given realized in algorithms («Calculation of intermediate parameters of hydraulic resistance, middle temperature, gas permanent, coefficient of compressibility») and programs («Prognosis», «Simulation model», «Calculation of hydrodynamic parameters») which are inculcated on the enterprises of «Ukrtransgaz».

Influence between the parameters of the modes of operations of gas pipeline is set and by the charges of energy on the transport of gas and it is retined that *энергозатраты* at transporting the energies related to dissipation, by the caused action of inertia forces in a stream and heat exchange for an environment, here an output-input of gas pipeline ratio lies within the limits of 15 – 25%.

Statistical researches of influence of hydraulic efficiency of linear areas of gas pipelines on the degree of the rational use of energy at the transport of gas retined, depending on the mode of operations of gas pipeline of decline of coefficient of hydraulic efficiency on 1% results in diminishing of output-input ratio on a size 0,5 – 2,5% .

Analytical and experimental researches of dispersion energy at the pipeline transport of gas confirm position about operating of inertia forces on a stream and influence of thermodynamics unideality of gas on the size of expenses of energy at a pumping-over. Experimental approbation and generalization of the got results allowed to create a programmatic complex for the design of work of the gas-transport systems, introduction of which in practice of exploitation of gas pipelines of «Ukrtransgaz» allowed to get an annual economic effect in size of 112 thousands of Uah in a year

Keywords: gas-transport system, modes of exploitation, expenses of energy is an output-input ratio, prognostication.



an2325