

622.691.4.052(043)
С 48

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

СЛОБОДЯН Володимир Іванович



УДК 622.692.4

**РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ
КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ**

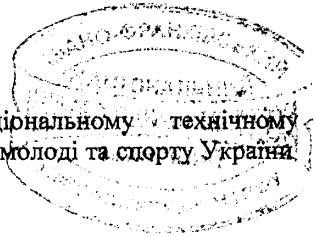
Спеціальність 05.15.13 – Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

м Івано-Франківськ – 2011

Дисертацією є рукопис

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



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Грудз Володимир Ярославович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач 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 26 травня 2011 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 "22" квітня 2011 р.

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

Пилипів Л.Д.



ГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Неухильне зростання ролі трубопровідного транспорту газу як засобу диверсифікації енергетичних джерел та життєва необхідність визначального для енергетичної стратегії України раціонального використання енергоресурсів, вимагає вирішення задачі підвищення надійності та ефективності роботи газоперекачувальних агрегатів (ГПА) компресорних станцій (КС), які змінюють свою структуру та технологічне навантаження, а також піддаються з часом фізичному та моральному старінню. Відомі на сьогодні методи оптимізації ремонтів та обслуговування газотранспортних систем не дають змоги вирішити питання підвищення надійності ГПА з урахуванням їх поточного стану. Ефективність експлуатації газоперекачувальних агрегатів може бути підвищена шляхом правильного встановлення термінів і послідовності проведення планово-попереджувальних ремонтів за реальним технічним станом агрегату, який як відомо, може змінюватись і безперервно, і дискретно. Тому оцінка технічного стану ГПА визначає не тільки його здатність до виконання процесу компримування газу на КС, але й міру споживання енергоносіїв для виконання цієї важливої задачі. У зв'язку з сказаним, характер експлуатації газоперекачувальних агрегатів і системи їх обслуговування, а також бережливе використання прихованих технологічними процесами резервів економії енергетичних носіїв, на даному етапі експлуатації газотранспортних систем мають особливо актуальне значення. В такій постановці задача забезпечення надійності і економічності експлуатації ГПА, особливо для умов складних газотранспортних систем, може бути практично реалізована, а її результати використані при плануванні технічного обслуговування агрегатів і забезпечення їх оптимальної експлуатації (Державний реєстраційний № 0110U000145).

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

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 рр.", і виконана в рамках держбюджетної теми "Удосконалення наукових основ управління технологічними процесами видобування та транспортування нафти і газу з мінімальними енергозатратами".

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення методів експлуатації складних газотранспортних систем (ГТС) великої пропускної здатності для більш повного використання енергоресурсів на транспортування газу і прихованих резервів виробництва.

Поставлена мета досягається шляхом реалізації наступних завдань:

1. Визначення резервів використання енергоресурсів при експлуатації складних газотранспортних систем і прихованих резервів виробництва.

2. Дослідження раціонального розподілу навантаження між цехами багатоцехових компресорних станцій та залежно від розподілення газових потоків у складних газотранспортних системах.
3. Оцінка втомної міцності та тріщиностійкості технологічних трубопроводів компресорних станцій і розробка заходів з їх підвищення.
4. Виявлення і обґрунтування можливості використання прихованих енергетичних резервів у структурі складних газотранспортних систем великої пропускної здатності.
5. Апробація у виробничих умовах запропонованих заходів і засобів та розробка рекомендацій з подальшого підвищення їх ефективності.

Об'єктом дослідження є елементи складних газотранспортних систем ДК "Укртрансгаз" НАК "Нафтогаз України".

Предметом дослідження є енергетичні ресурси компресорних станцій магістральних газопроводів.

Методи дослідження: системний аналіз експлуатаційних параметрів ГПА, традиційні методи аналізу показників експлуатації ГПА, методи побудови експлуатаційних характеристик ГПА, кореляційно-регресійний аналіз, факторний аналіз, методи математичного програмування, виявлення впливу організаційно-технічних чинників на ефективність експлуатації.

Положення, що захищаються. Вплив характеристик режиму і розподілу потоків газу в складних газотранспортних системах на енерговитрати на транспортування газу, виявлення і використання прихованих енергорезервів.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше:

- на основі статистичного аналізу і аналітичних досліджень показників експлуатації компресорних станцій складних газотранспортних систем показано, що в умовах квазістаціонарного режиму можуть виникати високочастотні пульсації тиску з значною амплітудою;
- на основі аналізу газових потоків у складних газотранспортних системах показано, що енерговитрати на компримування газу ГПА великої одиничної потужності суттєво залежать від перерозподілу витрат газу між паралельними нитками системи, що підвищує ефективність регулювання режимів складних ГТС;
- на основі експериментальних досліджень моделей - "вирізок" отримано залежності параметрів опору втомному руйнуванню труб протипомпажних ліній для забезпечення їх надійності при реконструкції.

Удосконалено:

- метод оцінки показників енерговитрат на транспортування газу залежно від розподілу продуктивності для багатоцехових КС;
- принципи використання прихованих енергоресурсів на КС.

Практичне значення отриманих результатів. Встановлені закономірності раціонального розподілу газових потоків у складних газотранспортних системах використано для розробки режимів роботи багатоцехових компресорних станцій з метою економії енерговитрат на транспортування газу; розроблено алгоритми і програми розрахунку, які використовуються на практиці в Богородчанському ЛВУМГ.

На основі досліджень пульсацій тиску у вхідних лініях КС встановлено їх пошкоджуючий вплив на втомну міцність трубної сталі; розроблено технологічний регламент і проведено реконструкцію системи обв'язки ГПА на КС-39.

Запропоновано методи прогнозування та практичного використання прихованих енергорезервів, які впроваджено в практику в Богородчанському ЛВУМГ.

Особистий внесок здобувача. Удосконалено принципи використання прихованих енергоресурсів технологічних процесів та створено і впроваджено у виробництво турбодетандерну установку [1, 2, 9].

Встановлено, що для багатоцехових КС складних ГТС при роботі на непроектованих режимах важливе значення на енерговитратність перекачування має розподіл газових потоків між нитками складної газотранспортної системи. [3, 4, 10].

Показано, що флуктуації витрати газу в умовах квазістаціонарного режиму роботи газопроводу призводять до пульсацій тиску на вході компресорної станції, встановлено амплітудно-частотні характеристики коливного процесу [5].

Досліджено втомну міцність трубної сталі технологічних трубопроводів КС, запропоновано методи їх підсилення з застосуванням бандажів [6, 11].

Автор брав безпосередню участь в розробці і впровадженні у виробництво запропонованої техніки і технологій [2, 7, 8].

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідались на:

- науково-практичної конференції факультету нафтогазопроводів, 7-8 травня 1998 р., м.Івано-Франківськ;
- міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці”, 16-20.04.2007, м.Івано-Франківськ;
- нараді ДК Укртрансгаз НАК “Нафтогаз України” “Проблеми довгострокових реконструкцій ПСГ та шляхи їх вирішення”, 17-20 квітня 2007 р., м.Яремче;
- всеукраїнській науково-практичній конференції “Оптимізація наукових досліджень - 2009”, 17 червня, 2009 р., м. Миколаїв;
- всеукраїнській науково-практичній конференції “Передовий науково-практичний досвід - 2009”, 17 вересня 2009 р., м. Миколаїв;

- всеукраїнській науково-практичній конференції “Шляхи підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту нафти і газу та підготовка кадрів галузі”, 2-3 вересня 2010 р., м. Івано-Франківськ.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 11 друкованих праць, з яких 6 у фахових виданнях ВАК, 2 деклараційні патенти.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, 4-х розділів, висновків та додатків, які викладені на 146 стор. машинописного тексту і містять 3 табл., 55 рис., та 2 додатки на 3 стор. Список використаних літературних джерел містить 127 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дано загальну характеристику роботи, показано актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами, планами, вказано мету і задачі досліджень, їх наукову новизну, особистий внесок здобувача і структуру дисертації.

Перший розділ присвячено аналізу літературних джерел та конкретизації завдань досліджень.

Газотранспортна система України 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.

На вході ГТС спроможна прийняти до 290 млрд. м³, а на виході передати 175 млрд. м³ природного газу, в т.ч. 140 млрд. м³ - до країн Західної та Центральної Європи. На сьогодні близько 29% газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін, майже 60% експлуатуються від 10 до 33 років. Майже третина із 703 ГПА КС виробила свій моторесурс або близька до цього і потребує реконструкції.

Споживання природного газу в Україні в 2010 році порівняно з 2009 зменшилося на 4,1 млрд. м³. 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 1000 м³ газу становила 130 доларів), то в 2008 - вже понад 9 млрд. дол. (179,5 дол. за 1000 м³). Залежність від одного джерела газопоставок порушує баланс енергетичної безпеки і ставить економіку України в надмірну залежність від тенденцій зовнішньоекономічної політики Росії.

Компресорні станції системи дальнього транспортування газу призначені для підвищення енергії газового потоку, необхідної для його руху

з заданою витратою по лінійних ділянках. Основним обладнанням компресорних станцій є газоперекачувальні агрегати, в яких здійснюється компримування газу, тобто передача механічної енергії приводу газовому потоку.

Очевидно, що енерговитратність на транспортування газу в першу чергу залежить від технічного стану газоперекачувальних агрегатів, які є об'єктами великої одиначної потужності. Тому зниження рівня надійності ГПА призводить не тільки до виникнення аварійних ситуацій, а й до суттєвої перевитрати енергоресурсів на транспортування газу.

Останніми роками помітно знизилася надійність технологічних трубопроводів компресорних станцій, що, перш за все, пов'язано із зростанням напружень, викликаних залежністю положення опор від сезонної зміни характеристик ґрунту, монтажними напруженнями і корозійним зносом. У цих умовах вібрація технологічних трубопроводів КС і динамічні напруження призводять до зміни механізму руйнування, а іноді і до їх руйнування, особливо за наявності дефекту стінки труби. Основною причиною вібрації технологічних трубопроводів компресорних станцій є пульсація (коливання) параметрів потоку газу, що транспортується. Підвищені амплітуди пульсації підсилюють вібраційні процеси, дія на яких зміною характеристик опор, як показує практика, виявляється малоефективним. Для підвищення надійності роботи технологічних трубопроводів компресорних станцій необхідно встановити причини і розробити методику зниження інтенсивності низькочастотних коливань потоку газу.

В другому розділі наведено результати дослідження енергетичних характеристик газових потоків в складних газотранспортних системах.

На основі статистичних досліджень і математичного моделювання виконано аналіз енергоємності газових потоків у складних газотранспортних системах великої пропускної здатності. Зокрема проаналізовано вплив температурного режиму газопроводів з врахуванням і без врахування тепла тертя потоку, а також зміни фізичних властивостей газу в процесі транспортування на пропускну здатність системи. Встановлено, що навіть незначні збурення мають значний вплив на пропускну здатність великих газотранспортних систем, і їх необхідно враховувати при прогнозуванні обсягів перекачування газу.

Аналіз функціонування багатониткової газотранспортної системи свідчить, що у разі зміни режиму її роботи найбільш важко забезпечувати ефективність тих компресорних станцій, в яких переважають цехи з газоперекачувальними агрегатами великої одиначної потужності (25 МВт і 10 МВт). Вимкнення і увімкнення таких агрегатів викликає найбільші зміни режиму в сусідній ГПА і цехах, причому цей процес супроводжується значними перетіканнями міжцеховими перемичками. Необхідно, щоб у всіх режимах нагнітачі працювали в зоні найбільш високих ККД, а навантаження газотурбінного привода було близьке до номінального. Труднощі, що при

цьому виникають, можна простежити на прикладі нагнітача 650-21-2 з приводом від ГТУ (рис.1).

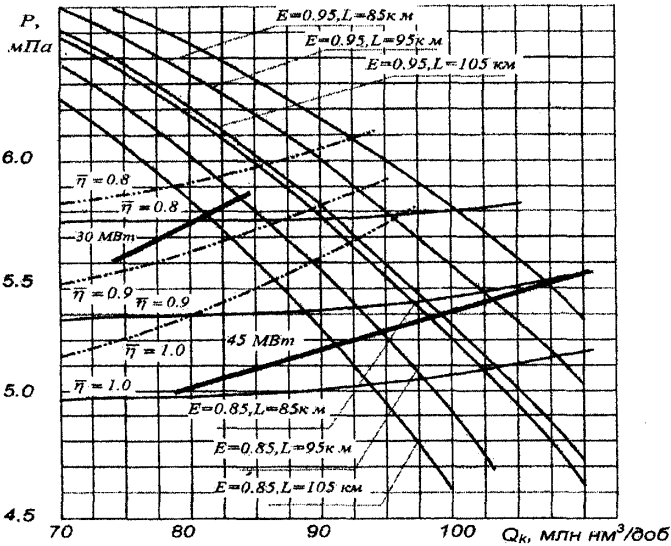


Рис. 1. Загальна характеристика двох паралельно працюючих нагнітачів ВН 650-21-2 з двома паралельними нитками газопроводу

Однак здебільшого при непроектних режимах газопроводу робочі точки не можна нанести на характеристику, оскільки внаслідок перетікань газу в менш завантажені або вільні нитки дійсна характеристика газопроводу проходить правіше. З метою більш повного завантаження працюючих агрегатів у пониженого проти нормального значення ступеня стискування КС і роботі в цеху двох ВН ГПА-25І їхні робочі точки на діаграмі розташовуються праворуч від зони максимальних ККД, а це дає безсумнівний енергетичний вигравш. При вимиканні ж одного агрегату ВН 650-21-2 (рис.1) характеристика цеху не перетинає робочу зону характеристики ділянки газопроводу, тобто в цьому випадку перетікання повинні походити від сусідніх цехів. Тому для оптимізації роботи складної ГТС перетікання необхідні. Перетікання між компресорними цехами повинні забезпечувати повне завантаження привода і роботу нагнітача в області високих ККД.

Прийнято вважати, що магістральні трубопроводи працюють в умовах стаціонарного потоку газу, і основні параметри режиму незмінні а часі. Однак, на режим роботи мають вплив значний обсяг різноманітних факторів, серед яких слід виділити внутрішні, зв'язані з функціонуванням системи, і зовнішні, що є результатами впливу довкілля на систему.

Перечислені впливи викликають нестабільність газового потоку в трубах, що в свою чергу відбивається на роботі обладнання КС і приводить

до пульсацій тиску. Тому потік газу в газопроводі слід вважати квазістаціонарним.

Для оцінки зміни параметрів в часі експлуатації розглянуто режим роботи КС-39 “Богородчани” газопроводу “Уренгой-Помари-Ужгород” (“УПУ”) за 31.10.10. Характер зміни тиску і витрати газу на протязі доби приведено на рис. 2. Аналіз наливання параметрів у часі показує, що максимальна абсолютна зміна витрати складає 102 тис. м³/год, а зміна тиску 0,13 МПа. За вказаними даними розраховано для різних моментів часу зміну енергоємності потоку, вираженої у вигляді потужності. Встановлено, що на протязі доби максимальна абсолютна зміна потужності потоку складає 2,394 МВт.

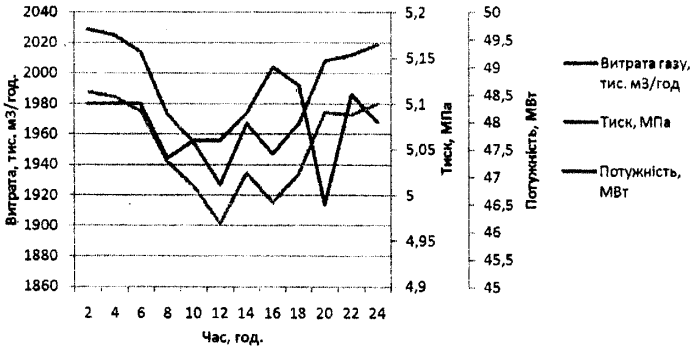


Рис. 2. Зміна параметрів режиму в часі

З метою аналітичних досліджень процесу пульсації тиску на вході КС створено математичну модель газодинамічних процесів в лінійній ділянці газопроводу, яка базується на відомих рівняннях руху газу і нерозривності потоку і отримано розв’язок у вигляді

$$P^2(x,t) = P_H^2 - \frac{P_H^2 - P_K^2}{L} \cdot x - \frac{\lambda \cdot Z \cdot R \cdot T}{F^2 \cdot d} \left(\frac{m_2^2 - m_1^2}{2 \cdot L} \cdot x^2 - m_1^2 \cdot x \right) +$$

$$+ \frac{2L}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left\{ \frac{\lambda \cdot Z \cdot R \cdot T}{F^2 \cdot d} \left[m_2^2 (-1)^n - m_1^2 (1 - (-1)^n) \right] - \frac{P_H^2 - P_K^2}{L} (1 - (-1)^n) \right\} \times,$$

$$\times (\cos w_n \cdot t + \sin w_n \cdot t) e^{-4at} \cos \frac{\pi \cdot n \cdot x}{L}$$

де: $w^n = \frac{1}{2L} \sqrt{4\pi^2 \cdot n^2 \cdot c^2 - (2a)^2 \cdot L^2}$ - частота коливного процесу;

$2a = \frac{\lambda w}{2d}$ - коефіцієнт лінеаризації;

$P_{нРк}$ - тиски на початку і в кінці ділянки в умовах стаціонарного режиму;

λ - коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу;

T - середня температура газу;

F - площа поперечного перерізу труб;

R - газова стала;

d - внутрішній діаметр труб.

Частота коливань тиску залежить від довжини ділянки газопроводу, коефіцієнту гідравлічного опору, швидкості руху газу і швидкості звуку в газі. Однак, пріоритетними в цьому переліку є довжина ділянки газопроводу і швидкість звуку в газі, яка залежить від його температури. Амплітуда в згасаючому коливальному процесі досягає максимального значення 0,09 МПа на кінець четвертої секунди, знижується до 0,045 МПа через хвилину і практично стає рівною нулю на протязі 30 хвилин.

Пульсаційні коливання тиску викликають інерційні втрати енергії в газовому потоці і обумовлюють нестабільну роботу газоперекачувального агрегату, що призводить до перевитрати енергії на транспортування газу.

Третій розділ присвячено дослідженням втомної міцності і тріщиностійкості технологічних трубопроводів компресорних станцій.

Значний термін експлуатації окремих об'єктів ГПА досягає 40-45 років. За такі великі проміжки часу в матеріалі труб газопроводів відбувається деградація властивостей матеріалу внаслідок корозійних процесів, підсилених впливом змінних у часі механічних напружень. Це цілком стосується протипомпажних ліній ГПА ГТК-25і ст. № 1-3 КС-39 газопроводу "УПУ" УМГ "Прикарпаттрансгаз" ДК "Укртрансгаз", виготовлених з імпорتنних труб у 1982 році. У зв'язку з виявленими під час діагностування мікротріщинами та корозійними дефектами, за чинними вимогами несумісними з подальшою експлуатацією, було прийнято рішення про капітальний ремонт ліній з повною заміною труб. Запропоновано вирішення задачі шляхом заміни ділянок з переходом на труби вітчизняного виробництва. Заміну проведено на труби діаметром 325 мм і товщиною стінки 11 мм зі сталі марки 09Г2С, виробник - ЗАТ "Нікопольська трубна компанія", Україна. Механічні характеристики, не менше: границя міцності - 500 МПа, границя плинності - 350 МПа; відносне видовження δ_5 - 21%.

У зв'язку з специфікою умов роботи протипомпажних ліній ГПА (пульсації тиску, посилена вібрація, корозія) основним критерієм забезпечення експлуатаційної надійності є їх висока втомна міцність. Тому проведено комплекс експериментальних досліджень, спрямованих на визначення характеристик опору втомі даних труб (рис. 3). Для урахування пошкодження поверхні використано натурні моделі-"вирізки". Усього для експериментальних досліджень було виготовлено 12 зразків, з них 5 вирізано з експлуатованої протягом 24 років труби німецького виробництва і 7 - з нової труби зі сталі 09Г2С. З метою оцінювання ступеня небезпеки можливих

концентраторів напружень на 2 зразках з нової труби було нанесено механічні пошкодження у вигляді надрізу.

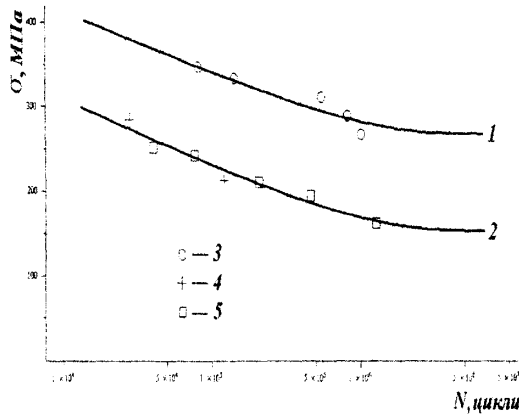


Рис. 3. Результати досліджень втомної міцності моделей-«вирізків»:
 1 - крива втомі моделей-«вирізків» з нової труби зі сталі 09Г2С;
 2 - крива втомі моделей-«вирізків» з експлуатованої труби;
 3 - результати досліджень моделей-«вирізків» з нової труби без концентратора;
 4 - результати досліджень моделей-«вирізків» з нової труби з наведеним концентратором;
 5 - результати досліджень моделей-«вирізків» з експлуатованої труби.

Результати експерименту свідчать про значне зниження опору втомі експлуатованих труб (падіння границі витривалості близько 70%). Приблизно таке ж падіння опору втомі спостережено для зразків з нової труби з наведеними концентратрами.

Висока втомна міцність нової труби свідчить про досягнення достатнього рівня експлуатаційної надійності протипомпажних ліній після ремонту. Додатковим позитивним чинником є збільшення на 40% товщини стінки труби. Крім очевидного зменшення номінальних напружень та збільшення довговічності в умовах корозії, також спостережено зменшення інтенсивності вібрації

Випробування на тріщиностійкість зразків проводились в умовах лабораторного повітря. Зразки для випробувань на тріщиностійкість вирізали з випробуваних моделей-«вирізків», механічно обробили на фрезерному та шліфувальному верстатах до розмірів $4 \times 10 \times 100$ мм. На підготовлені таким чином зразки алмазним кругом нанесли V - подібний концентратор напружень глибиною 1 мм з кутом при вершині 60° і радіусом у його вершині

не більше 0,1 мм. Бокову поверхню зразків в ділянці майбутньої площини поширення тріщини відполірували.

Для визначення характеристики матеріалу - критичного КІН скористалися наступною емпіричною залежністю, що зв'язує ударну в'язкість за заданої температури з величиною K_{IC} :

$$K_{IC} = 0.1 \sqrt{0.1 \frac{E}{1 - \mu^2} KCU}$$

де E - модуль пружності;
 μ - коефіцієнт Пуассона;
 KCU - ударна в'язкість по Шарпі.

Як видно з результатів експериментальних досліджень (рис.4), тріщиностійкість матеріалу труби зі сталі 09Г2С має дещо нижчі показники, ніж зі сталі ST-E-385.7. У зв'язку з цим попередньо було прийнято рішення про збільшення товщини труби з 8 мм до 12 мм. Цим забезпечується гарантований запас міцності, який компенсує понижену тріщиностійкість матеріалу труби протипомпажної лінії ГПА.

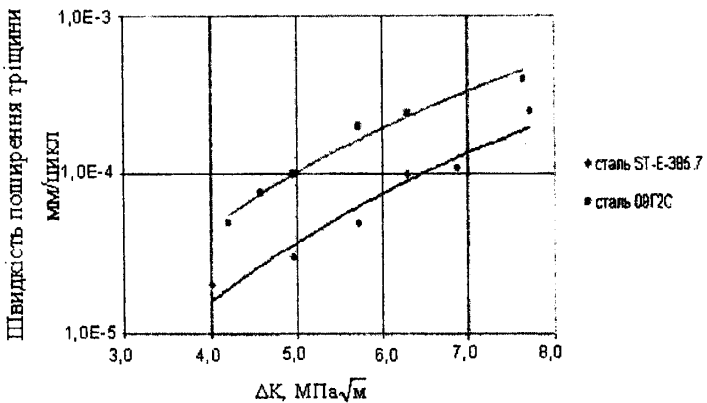


Рис. 4. Графік росту втомої тріщини у зразках при частоті деформування 24 Гц

Забезпечення надійності технологічних газопроводів КС вимагає поглибленого вивчення процесів і механізмів в металі внаслідок накопичення пошкоджень в ньому в умовах старіння та втоми.

Результати досліджень поверхонь руйнування (зламів) зразків за допомогою оптичного мікроскопу METAM МГ-21 та електронного мікроскопу ZEISS EVO-40XVP дозволили встановити зв'язок між структурою досліджуваних сталей, умовами навантаження та механізмами

втомного руйнування. Зазначимо, що напруження за умов втомного руйнування переважно не перевищують границю плинності матеріалу. Утомні злами мають характерний блиск і будову: частина поверхні зламу гладка, притерта, з наявністю концентричних ліній, інша частина зламу може бути в'язка або крихка.

На поверхні втомного зламу можна виокремити характерні ділянки і зони, такі як фокус зламу, осередок руйнування, зона поширення тріщини, зона доламування. Утомні тріщини переважно зароджувались в зовнішніх, найбільш навантажених і пошкоджуваних шарах зразка, рідше під поверхнею зміцненого шару деталі. Осередок руйнування характеризується, насамперед, найбільшим блиском і дрібнозернистою будовою поверхні. В деяких зразках за наявності декількох поряд розташованих фокусів у ньому утворювались або рубці, або складки, що поширювались радіально. Від осередку руйнування, як з центра, розходяться лінії втоми.

Частка в'язкої складової в зламі є одним із критеріїв оцінки в'язкості матеріалу. Її визначають як відношення площі зламу, яку займає в'язка складова, до всієї площі. Аналогічно відношення площі крихких ділянок у зламі до всієї площі зламу є критерієм оцінки крихкості матеріалу.

Електронно-мікроскопічні дослідження зламів зруйнованих за умов втоми зразків підтвердили в'язкий тип руйнування (рис.5). Для всіх зразків характерна почережність (чергування) крупніших ямок із дрібними. рельєфності поверхні.

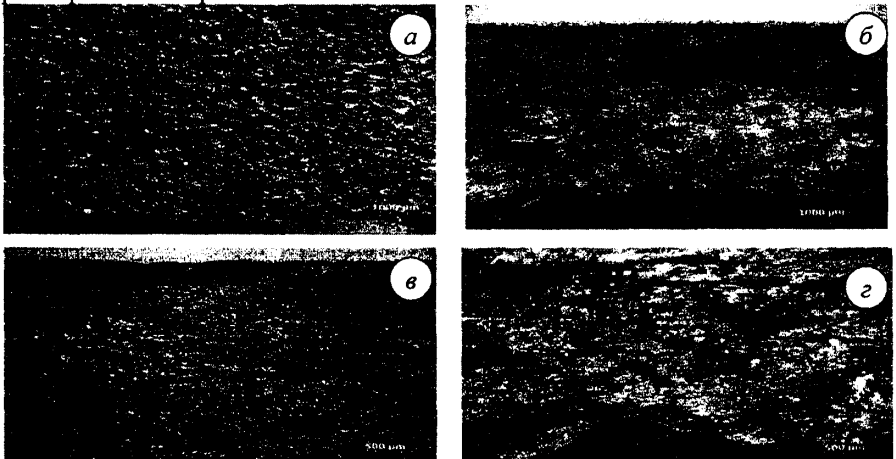


Рис. 5. Характер втомного руйнування зразків із сталі ST - E - 385.7 після випробувань на втому ($\sigma = 242$ МПа, $N = 77,6$ тис. цикл.):

- а - топографія поверхні торця;
- б - загальний вигляд поверхні руйнування зразка;
- в - зона поширення втомної тріщини;
- г - зона доламування.

У зразків із сталі 09Г2С з концентраторами, утвореними зубилом і шліфуванням, спостерігається в'язке руйнування з дрібними ямками, вилаштуваними у вигляді протяжних гребенів. Такі гребені формуються при злитті сусідніх в'язких мікротріщин. Виявлено фрактографічні відмінності мікромеханізмів руйнування таких зразків. Для зразка з концентратором, утвореним шліфуванням характерне руйнування квазісколом, за винятком зони доламування, яка характеризується в'язким типом руйнування. Будова зламу змінюється при нанесенні концентратора зубилом: на поверхні зламу спостерігаються численні ямки, а також зустрічаються площадки міжзеренного руйнування. Простежуються також відмінності в ступені мікро

Аналіз відомих вітчизняних і зарубіжних технологій ремонту магістральних трубопроводів показує, що на даний час у світовій практиці експлуатації магістральних трубопроводів появилось ряд альтернативних методів ремонту дефектних ділянок трубопроводів, що дозволяють, у більшості випадків, замінити ремонт методом вирізання котушок ремонтом без зупинки перекачування. Найбільш перспективним з них є технології ремонту з встановленням сталевих зварних муфт та різного виду бандажів.

Проведено гідравлічні випробовування за допомогою цементувального агрегату котушки без бандажа з наведеним концентратором. У результаті отримано величину внутрішнього тиску до зруйнування котушки 26,12 МПа.

Наступні дві котушки з такими ж концентраторами було зміщено металевими стрічковими бандажами (6 витків з товщиною стрічки 0,5 і 0,75 мм відповідно) і також доведено до руйнування. Як бачимо, руйнування відбулося поза зоною зміщення (рис. 6).



Рис. 6. Загальний вигляд зруйнованої труби з бандажем

Тиск до руйнування склав для першого бандажу 32,32 МПа, а для другого 36 МПа. Результати гідравлічних випробувань показують працездатність запропонованої конструкції металевого стрічкового бандажу.

Четвертий розділ присвячено дослідженням підвищення енергоефективності транспортування природного газу.

В Україні за рік споживання природного газу становить близько 70 млрд. м³. Ще близько 120 млрд. м³ природного газу транспортується магістральними трубопроводами через територію нашої країни. Для транспортування природного газу його стискають до 3...7 МПа. Під час споживання тиск газу зменшують до 0.01 МПа при цьому втрачається значний потенціал пружної енергії природного газу, яким слід користатися.

При видобутку, транспортуванні, розподілі і переробці природного газу, зниження його тиску до необхідної величини, в основному, проводиться шляхом дроселювання за допомогою клапанних регуляторів тиску прямої дії.

Використання (утилізація) практично дармової енергії тиску газу є актуальною в цілому світі і особливо актуальною для України. Якщо клапанні дроселюючі системами ступеня зниження тиску газу замінити утилізаційними системи, які базуються в основному на турбодетандерних електро-генераторних установках і агрегатах (ТДУ і ТДА), можна одержати значну кількість екологічно чистої електроенергії. Утилізаційні системи на базі турбодетандерів забезпечують одночасно з основною функцією - зниження і регулювання тиску газу під час його адіабатного розширення в турбіні, одержання механічної роботи на валу турбіни з перетворенням її в електроенергію, а також низького холоду, який можна використовувати в системах охолодження газу, що транспортується, для підвищення пропускних можливостей газопроводу і в системах кріогенного розділення продуктів природного газу.

Пропонується використати газовий двигун з електрогенератором, викидні гази і теплоту системи охолодження якого використовувати для підігрівання у турбодетандерній установці. Турбодетандерна установка вироблятиме електроенергію разом з газовим двигуном. При цьому тепло, яке викидатимуть газові двигуни (близько 60-70%), буде використовуватись для підігріву природного газу, який проходить через турбодетандерну установку.

З метою оптимізації параметрів струменево-реактивної турбіни (СРТ) проведено дослідження впливу її геометричних розмірів (радіуса ротора) і швидкості обертання вала на потужність і ККД двигуна. Побудовані графічні залежності потужності та ККД СРТ від швидкості обертання ротора та його радіуса мають явно виражений максимум, який визначає оптимальні величини вказаних параметрів. На характер залежності величини радіуса ротора СРТ від частоти його обертання впливає величина перепаду тисків на вході і виході, причому зниження перепаду тисків обумовлює зменшення потужності і ККД СРТ. Проведені дослідження дозволили визначити оптимальні значення радіуса ротора і частоти його обертання з умови максимуму ККД турбодетандерної установки з СРТ (рис. 7.)

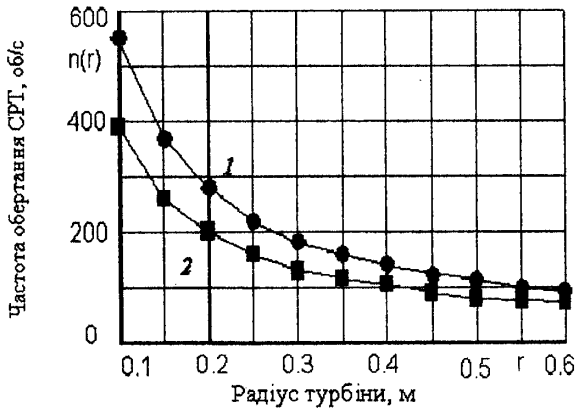


Рис. 7. Оптимальні значення радіуса ротора і частоти його обертання при тиску на вході: 1 – 5,5 МПа; 2 – 1,5 МПа.

Удосконалено методи прогнозування і практичного використання прихованих джерел енергозбереження в умовах технологічного регламенту багатощаблевих компресорних станцій складних великої пропускної здатності, обладнаних газоперекачувальними агрегатами значної одиничної потужності. Розроблено нову техніку і технологію утилізації енергоресурсів в умовах використання надлишків тиску при експлуатації газотранспортних систем великої пропускної здатності. Результати впровадження розроблених технічних засобів і рекомендацій з експлуатації на об'єктах Богородчанського ЛВУМГ показали високу енергоефективність пропозицій і адекватність результатів параметрам прогнозу

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень вирішено важливу наукову задачу, яка полягає у встановленні закономірностей взаємовпливу параметрів режиму роботи складних газотранспортних систем великої пропускної здатності і енерговитрат на транспортування природного газу, що дозволило розробити рекомендації з економічного використання енергоресурсів в трубопровідному транспорті газу і впровадити їх у виробництво, а саме:

1. Аналітичні і статистичні дослідження показали, що для складних газотранспортних систем великої пропускної здатності при квазістаціонарних потоках газу в трубах характерні скачкоподібні зміни параметрів перекачування, які викликають пульсації тиску у входних лініях компресорних станцій з частотою в межах 4 - 14 Гц і амплітудою до 0,09 МПа, які можуть викликати змінні напруження в стінках труб і призвести до втрати втомної міцності трубних сталей.

2. При експлуатації багатощабрових компресорних станцій на непроектованих режимах складних газотранспортних систем можлива експлуатація газоперекачувальних агрегатів в зоні низьких значень ККД, що призводить до перевитрати енергії на транспортування газу. Показано, що регулювання міжниткових перетоків дозволить суттєво підвищити ККД ГПА і перевести кожен з цехів в зону ефективного енергоспоживання ГПА, що дозволить економити енергоносії на транспорт газу.

3. Висока втомна міцність труби зі сталі 09Г2С свідчить про достатній рівень експлуатаційної надійності протипомпажних ліній після ремонту. Позитивним чинником є також збільшення на 40% товщини стінки труби, що зменшує номінальні напруження та сприяє збільшенню довговічності за умов впливу корозивного середовища. Результати фрактографічних досліджень поверхонь зламу зразків та з'ясування механізму втомного руйнування підтвердили доцільність використання труби зі сталі 09Г2С для забезпечення високої експлуатаційної надійності протипомпажних трубопроводів КС

4. Удосконалено методи прогнозування практичного використання прихованих джерел енергозбереження в умовах технологічного регламенту багатощабрових компресорних станцій складних великої пропускної здатності, обладнаних газоперекачувальними агрегатами значної одиничної потужності. Розроблено нову техніку і технологію утилізації енергоресурсів в умовах використання надлишків тиску при експлуатації газотранспортних систем великої пропускної здатності.

5. Результати впровадження розроблених технічних засобів і рекомендацій з експлуатації на об'єктах Богородчанського ЛВУМГ показали високу енергоефективність пропозицій і адекватність результатів параметрам прогнозу.

Основний зміст дисертації викладено в наступних наукових публікаціях:

1. Козак Л.Ю. Використання пружної енергії стиснутого газу як один з заходів по зниженню техногенного впливу на навколишнє середовище / Л.Ю.Козак, В.І.Слободян // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2000. - № 37, (том 9). - С. 37-41.

2. Козак Л.Ю. Дослідження ефективності турбодетандерної установки з реактивно-струменевою турбіною / Л.Ю. Козак, В.І. Слободян, С.К. Корольов // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2001. - № 38, (том 5). - С. 96-105

3. Козак Л.Ю. Енергоаощадження у газотранспортній системі України / Л.Ю. Козак., В.Я. Грудз, М.Д.Середок, В.І. Слободян // Нафтова і газова промисловість. - 2001. - № 3. - С. 34-36.

4. Грудз В.Я. Енергетична ефективність використання високопотужних газоперекачувальних агрегатів на компресорних станціях багатониткових систем / В.Я. Грудз, Я.В. Грудз, В.І. Слободян // Нафтогазова енергетика. - 2010. - № 2. - С. 30-33.

5. Грудз В.Я. Характеристика режимів роботи компресорних станцій

магістрального газопроводу / В.Я.Грудз, Я.В.Грудз, В.І.Слободян // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - 2010. - № 4. - С. 124-126.

6. Слободян В.І. Забезпечення експлуатаційної надійності протипомпажних ліній газоперекачувальних агрегатів після капітального ремонту // Науковий вісник ІФНТУНГ. - 2010. - №4. - С. 84-89

7. Пат. 52252 Україна, МПК F02C 3/00. Турбодетандерна установка/ Козак Л.Ю., Слободян В.І.; патентовласник ІФНТУНГ. - № у 2002 032484; заявл. 29.03.2002; опуб. 16.12.2002, Бюл. № 12. - 6 с.

8. Пат. 64118 Україна, МПК F02C 3/00. Турбодетандерна установка / Козак Л.Ю., Слободян В.І., Крамаренко С.А., Мицьо С.А.; патентовласник ІФНТУНГ. - № у 2003 010312; заявл. 14.02.2004; опуб. 16.02.2004, Бюл. № 2. - 4 с.

9. Грудз В.Я. Рекуперация енергії при транспортуванні газу магістральними трубопроводами./ В.Я.Грудз, Л.Ю.Козак, З.П.Лютак, В.І.Слободян //Матеріали науково-практичної конференції факультету нафтогазопроводів. - Івано-Франківськ, 7-8 травня 1998 р. - С.48-49.

10. Грудз В.Я. Дослідження енергетичного стану складних газотранспортних систем./ Грудз В.Я., Грудз Я.В., В.І.Слободян, А.В.Дацюк // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Шляхи підвищення ефективності експлуатації трубопровідного транспорту нафти і газу та підготовка кадрів галузі" . - Івано-Франківськ, 2-3 вересня 2010 р. - С. 9-12.

11. Лохман І.В. Якісний ремонт магістральних газопроводів - ключ до стабільної роботи ГТС/ І.В. Лохман, В.А. Фролов, О.О. Льницький, В.І. Слободян // Інформаційний огляд ДК"Укртрансгаз" - №4(40) - 2006 р. - С. 5 - 8.

АНОТАЦІЯ

Слободян В.І. - Рациональне використання енергетичних ресурсів компресорних станцій магістральних газопроводів - 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, 2011.

Дисертацію присвячено удосконаленню технологій експлуатації складних газотранспортних систем з багатоцеховими компресорними станціями з метою економії енерговитрат на транспортування газу і використання прихованих резервів виробничого процесу. Досліджено і проаналізовано квазістаціонарні режими роботи складних ГТС, в результаті встановлено необхідність регулювання режимів з метою зменшення енерговитрат, та виявлено пульсаційні процеси коливання тиску на вході КС, досліджено вплив пульсацій тиску на втомну міцність технологічних трубопроводів КС. Проведено дослідження втрат енергії в умовах технологічних процесів і запропоновано шляхи використання прихованих резервів виробництва.

Ключові слова: газотранспортна система, пульсації тиску, енерговитрати, втомна міцність, турбодетандерні установки.

АННОТАЦИЯ

Слободян В.И. - Рациональное использование энергетических ресурсов компрессорных станций магистральных газопроводов - Рукопись.

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

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа. - Ивано-Франковск, 2011.

Диссертация посвящена усовершенствованию технологий эксплуатации сложных газотранспортных систем с многоцеховыми компрессорными станциями с целью экономии энергозатрат на транспортировку газа и использование скрытых резервов производственного процесса. Исследовано и проанализировано квазистационарные режимы работы сложных ГТС, в результате установлена необходимость регулирования режимов с целью уменьшения энергозатрат, и обнаружены пульсационные процессы колебания давления на входе КС, исследовано влияние пульсаций давления на усталостную прочность технологических трубопроводов КС. Проведено исследование потерь энергии в условиях технологических процессов и предложены пути использования скрытых резервов производства.

Ключевые слова: газотранспортная система, пульсации давления, энергозатраты, усталостная прочность, турбодетандерные установки.

ANNOTATION

Slobodyan V.I. Rational use of main gas pipelines compressor station power resources - Manuscript.

Ph.Thesis in Engineering Science on speciality 05.15.13 - Pipeline Transportation, Oil and Gas Storage.

Ivano-Frankovsk National Technical University of Oil and Gas. - Ivano-Frankivsk, 2011.

Dissertation is devoted to the improvement of exploitation technologies of difficult gas-transportation system with the purpose of power charges economy for gas transportation and production process hidden reserves using. Quasi-stationary models of complex gas transportation systems operations are investigated and analyzed. As a result, the necessity of models adjusting was set with the purpose of power charges diminishing, and pulsation processes oscillation at the compressor stations input were detected. Pressure pulsation influence on tireless toughness of compressor station technological pipelines was investigated. Research of energy

losses within technological processes was conducted and means for production hidden reserves using was offered.

The first section is devoted to the analysis of literary sources and specification of research tasks. The analysis of exploitation of the Ukrainian gas-transportation system and gas consumption is given.

The second section presents results of gas streams power descriptions research, that arise in the complex gas-transport systems.

It is set that for complex gas-transportation systems with large carrying capacity even the insignificant rejections of parameters cause the substantial change of the productivity which requires the account of temperature condition and change of physical properties of gas at prognosis calculations.

A lot of the workshop compressors stations of the complex gas-transport systems during exploitation must consider that unproject modes exploitation losses of gas are possible through interthread bridges with the purpose of approaching of each gas transportation system in the area of maximum possible efficiency.

Curve like changes of gas expenses in complex gas-transport systems with large carrying capacity results in the origin in high-frequency pressure fluctuations (pulsations) in the input lines of the compressor stations, that it is related to the loss of tireless toughness and occurring of emergency situations.

The third section is devoted to the research of pressure pulsation influence on tireless toughness and fracture strength of compressor stations technological pipelines.

The algorithm and method of non-stationary motion of gas in gas pipelines of the compressor stations is created.

With the purpose of transients optimization method and algorithms of calculation of linear structure of the non-stationary mode in gas pipelines were developed.

Certain criteria of linear part unstationarity of the gas-transport system, and the criteria of unstationarity are presented at the calculations of operations modes of the system. For this purpose the analysis was conducted to determine when and what criteria are better to be used in the set models.

The fourth section is devoted to the research of the power efficiency increase in natural gas transportation. The turbine expander settings, that allow saving gas stream energy are offered and inculcated.

The result of the research aims the important scientific task, which consists in setting conformities to the law of interplay of operation mode parameters of the complex gas-transport systems with large carrying capacity and energy losses on natural gas transporting, which allowed to develop recommendations for the economy use of power resources in the gas pipeline transportation and to apply them in industry.

Keywords: gas-transport system, pressure pulsations, power charges, tireless toughness, setting of turbine expander.