

Івано-Франківський державний технічний університет
нафти і газу

На правах рукопису

ГРУДЗ Володимир Ярославович

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ
НА НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ І ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ
ОБСЛУГОВУВАННЯ

Спеціальність 05.15.13 - Будівництво та
експлуатація нафтогазовопроводів, баз і
скорищ.

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Івано-Франківськ-1995.



00778167 (-)

Дисертація є рукописом.

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу.

Офіційні опоненти:


1. Доктор технічних наук, професор
Хидкоєв Матрона Олександрівна
 2. Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор
Войко Василь Степанович
 3. Доктор технічних наук, професор
Телегін Леонід Гаврилович
- Провідна організація АТ Укргазпром (м. Київ)

Захист відбудеться "10" 07 1996 р: о "10" год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.09.02.01 в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу.
Адреса: 284018 м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Івано-Франківського державного технічного університету нафти і газу за адресою: 284018 м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розіслано " 7 " 06 1996 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради


Шлапак Л.С.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність і ступінь дослідження тематики. Газотранспортний комплекс України характеризується значною протяжністю газопроводів рівного діаметру й призначення, обладнаних газоперекачувачими агрегатами різноманітних типів. Тривалий процес експлуатації обладнання та систем обумовив суттєву аміну характеристик агрегатів і гідравлічного опору лінійних ділянок.

Складність технологічних схем газотранспортних магістралей не дозволяє достовірно оцінити стан їх елементів загальновідомими методами. Крім цього, нестационарність течії газу в магістралях створює складність моделювання технологічних процесів в метю розв'язання обернених задач.

Неточні і неадекватні відомості про реальний стан елементів системи транспорту газу створюють труднощі в обслуговуванні та експлуатації об'єктів, що характеризуються значною протяжністю та великою енергоємністю. Експлуатація компресорних станцій 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.

Розробка та впровадження нових, а також вдосконалення існуючих методів оцінки реального стану об'єктів та систем газотранспортного комплексу дозволить скоротити витрату енергоносіїв для побіж компресорних станцій і знизити собівартість транспорту газу по магістралях України. В зв'язку з викладеним проблема адекватної оцінки реального стану елементів газотранспортних систем бачиться актуальною.

Іншим важливим аспектом вдосконалення експлуатації та скорочення витрат на трубопровідний транспорт газу, що опирається на результати діагностування стану обладнання та систем газотранспортного комплексу, вважається оптимізація процесу обслуговування об'єктів магістральних газопроводів. При цьому актуальними вважаються питання створення бази вимірювальних частин, прогнозування залишкового ресурсу газоперекачувачого агрегату, розв'язання яких дозволить перейти до прогресивної стратегії обслуговування елементів газотранспортної системи за їх реальним станом, котра передбачає підвищення інтенсивності використання парку обладнання компресорних станцій та зниження витрати матеріалів і енергоспоживання при їх експлуатації.

Вдосконалення системи діагностування і обслуговування об'єктів та систем газотранспортного комплексу зумовить підвищення надійності експлуатації магістральних газопроводів, що в кінцевому підсумку призведе до збільшення їх пропускної здатності та зниження витрат на транспорт газу.

Мета роботи. Підвищення ефективності обслуговування об'єктів і обладнання газотранспортних систем на основі параметричного діагностування їх стану та вдосконалення планування профілактичних заходів.

Основні завдання досліджень. 1. Дослідження впливу нестационарності течії газу в газопроводі на точність і достовірність визначення діагностичних ознак для лінійних ділянок.

2. Розробка методики діагностування лінійної ділянки та складної газотранспортної системи при нестационарній неізотермічній течії газу.

3. Дослідження переносу крапельної вологи по довжині лінійної ділянки, розподілу відкладень по його довжині, їх хімічного складу та фізичних властивостей.

4. Розробка нових і вдосконалення існуючих методів визначення кількості рідинних скупчень в порожнині газопроводу.

5. Дослідження нестационарних газодинамічних процесів, пов'язаних з пусковими режимами газоперекачуючого агрегату.

6. Розробка методик параметричного діагностування стану газоперекачуючого агрегату в умовах стаціонарного та нестационарного режимів його роботи.

7. Теоретичне обґрунтування вибору раціональних стратегій оптимізації обслуговування об'єктів газотранспортної системи.

8. Планування залишкового ресурсу роботи газоперекачуючого агрегату в умовах компресорної станції.

9. Розробка науково обґрунтованих методів технічного забезпечення об'єктів газотранспортної системи і планування ремонтів обладнання.

Наукова козисна. 1. Іперше розроблено основи параметричного діагностування стану лінійних ділянок і окладних газотранспортних систем в умовах нестационарного неізотермічного руху газу.

2. Запропоновано систему критеріїв, що визначають степінь нестационарності течії газу в лінійних ділянках газопроводів і дозволяють класифікувати режими газового потоку по відношенню до математичних моделей для їх опису.

3. На основі вивчення характеру переносу крапельної вологи потоком газу і її випадання в порожнині газопроводу

розширено і конкретизовано уявлення про розподіл скупчень в порожнині газопроводу та властивості відкладень.

4. Розроблено основи параметричного діагностування стану газоперекачуючого агрегату в умовах його експлуатації на стаціонарних і нестаціонарних режимах.

5. Теоретично обґрунтовано висір раціональних стратегій, що базуються на періодичному контролі стану об'єкту, та оптимізацію процесу обслуговування газотранспортних систем.

6. Розроблено метод прогнозування залишкового ресурсу ППА в умовах компресорних станцій.

7. Розроблено методику планування капітальних ремонтів обладнання компресорних станцій та їх технічного забезпечення.

Теоретична і практична цінність досліджень. Теоретична цінність і практичне значення проведених досліджень полягає в розширенні діапазону інформації про природу нестаціонарних неізотермічних процесів в газопроводах, оцінці реального стану газопроводу на основі даних їх параметрів, впливу характеру течії газу на енергетичні втрати, перенесення крапельної вологи потоком газу та її випадання в порожнині газопроводу, принципах оцінки стану газоперекачуючих агрегатів в умовах їх роботи на квазістаціонарних і нестаціонарних режимах, стратегіях технічного обслуговування об'єктів газотранспортних систем і оптимізації процесу обслуговування, а також в створенні методик, алгоритмів і програм реалізації вказаних задач.

Рівень реалізації і впровадження наукових розробок.

Основні питання, розв'язані в дисертаційній роботі, були включені в програми сумісних науково-дослідницьких робіт

ВНІІГАЗ, УкрНДІгаз та ІФІНГ, галузеві програми Мінгазпрому.
По результатах їх реалізації розроблено і випущено галузеві
методики:

-Методика расчета сложных газотранспортных систем с пересеченным профилем трассы (Київ,1986);

-Методика диагностики состояния магистрального газопровода (Київ,1987);

-Методика оптимизации процесса очистки полости магистральных газопроводов (Київ,1988);

-Методика оперативного диспетчерского управления режимами сложных газотранспортных систем (Київ,1987);

-Методика расчета распределения потоков газа в сложных газотранспортных системах и подсчета его запасов в трубах. (Івано-Франківськ,1988).

Конструкції очисних пристроїв, розроблених автором і захищених авторськими свідоцтвами, включались в "Задание по использованию изобретений" Мінгазпрому.

Розроблені рекомендації по оптимізації обслуговування і режимів роботи газотранспортних систем, оцінці реального стану їх елементів, а також техніку і технології для очистки газопроводів та підвищення їх гідравлічної ефективності впроваджено на підприємствах ВО Прикарпаттрансгаз (1981-1988 р.), УМГ Львівтрансгаз (1979,1991 р.), ВПО Се зргаз-прес (1988 р.). Сумарний економічний ефект (в цінах 1991 р.) склав 1 057 тис. крб.

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

III науково-технічній конференції ВНІІГАЗ (Москва,1976)

IV науково-технічній конференції ВНІІГАЗ по розробці газових родовищ і ПСГ (Москва,1978)

II конференції молодих вчених і спеціалістів «Кривава» (Харків, 1978)

IV конференції молодих вчених і спеціалістів об'єднання Главтіменнафтогаз (Тімень, 1979)

Всесоюзній науково-технічній конференції «Проблеми трубопроводного транспорту нафти і газу» (Івано-Франківськ, 1985)

Всесоюзній науково-технічній конференції «Проблеми науково-технічного прогресу в трубопроводному транспорті газу» (Тімень, 1987)

Всесоюзній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку нафтогазового комплексу країни» (Красний Курган, 1991)

X-XVIII науково-технічних конференцій професорсько-викладацького складу Івано-Франківського інституту нафти і газу. (Івано-Франківськ, 1974-1985)

конференцій професорсько-викладацького складу Івано-Франківського інституту нафти і газу. (Івано-Франківськ, 1992-1993)

технічній Раді Міністерства геології Болгарії і головного управління по нафтогазопостачанню «Нафтогазоснабдявання» (Софія, 1988)

В повному об'ємі результати досліджень доповідались на засіданні кафедри транспорту і зберігання нафти і газу ІФІНГ (1989, 1994) і науково-технічному семінарі факультету нафтогазопроводів ІФІНГ (1994 р.)

Публікації. По темі дисертації опубліковано 42 друкованих роботи, серед яких 1 монографія, 1 навчальний посібник, 4 авторських свідоцтва.

Обсяг і структура роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, в якому приведена загальна її характеристика, шести глав, списку використаних джерел, що вміщує 287 назв публікацій та додатків. Об'єм машинописного тексту складає 336 сторінок в тому числі 16 рисунків, 20 таблиць.

Особистий вклад автора в одержанні наукових результатів.

1. Автором вперше висунуто ідею діагностування об'єктів газотранспортних систем по параметрах їх роботи на нестационарних технологічних режимах [1,8,18,26,34,35,37,41Г].

2 Автором розроблено основи діагностування стану лінійних ділянок газопроводів та складних газотранспортних систем, визначення кількості рідини в газопроводі, та діагностування стану газоперекачуючих агрегатів [3-7,13,15,16,27,31-34,39].

3. Автором теоретично обґрунтовано методи вибору стратегії обслуговування та оптимізації параметрів елементів газотранспортних систем [2,9,10,14 17,28-30,36,38,40].

4. Пошукувач брав безпосередню участь у впровадженні результатів досліджень, одержаних в роботі [11,12,19-26,42], складанні галузевих керівних документів. Під його керівництвом і при безпосередній участі складено 5 галузевих методик для Мінгазпрому [34,35,36,37].

Характеристика методології, предмету і об'єкта досліджень.

Дослідження нестационарних режимів в елементах газотранспортних систем базуються на методах математичного моделювання термогазодинамічних процесів та реалізації обернених задач з метою знаходження значень діагностичних ознак. Широко використані статистичні методи досліджень експлуатаційних показників газотранспортних систем 'Братерство', 'Сове' та Уренгой-Поляр-Ужгород на західних ділянках траси.

ЗМІСТ РОБОТИ

В першій главі розглянуто методи параметричного діагностування лінійних ділянок магістральних газопроводів та складних газотранспортних систем.

З метою визначення структури енергетичних втрат при русі газу в лінійних ділянках газопроводу виконані розрахунки роботи сил тертя, гравітації та інерції для газопроводів Західного регіону України при реальних режимах їх роботи. В результаті розрахунків, виконаних на основі інтегральних методів, встановлено, що в загальній структурі енергетичних втрат гідравлічні втрати на тертя складають 68,8–80,5%, втрати від дії сил інерції – 13,9–25,2%, гравітаційні втрати – 5,2–6,3%. Значна доля інерційних втрат в їх загальній структурі приводить до нестационарності потоку газу в трубах і вимагає врахування цього фактору при моделюванні газодинамічних процесів в трубах з метою розв'язання обернених задач параметричного діагностування їх стану.

Проблемі параметричного діагностування лінійних ділянок газопроводів, визначенню і дослідженню гідравлічної ефективності та теплопередачі в навколишнє середовище присвячено праці Бобровського С.А., Галіулліна З.Т., Девичева В.В., Капцова І.І., Мамаєва В.А., Ходановича Є.І., Яковлева Є.І., в яких розроблено методи визначення коефіцієнтів гідравлічної ефективності та теплопередачі, що базуються як на стаціонарних ізотермічних та неізотермічних, так і на нестационарних моделях руху газу. В залежності від характеру

руху і вибору діагностичної моделі результати розрахунків можуть містити похибку, яка суттєво спотворюватиме результати діагностування.

В дисертаційній роботі розроблено методику розрахунку діагностичних ознак, що базується на неізоермічній нестационарній моделі руху газу в трубах, яка містить рівняння руху газу, рівняння нерозривності, рівняння енергії та нестационарного теплообміну з навколишнім середовищем. Вихідними даними для реалізації моделі вважаються значення тисків, температур та витрат газу на кінцях лінійної ділянки, подані у вигляді функцій часу. Реалізація алгоритму поставленої оберненої задачі здійснюється на основі модифікованого методу Ньютона, що дозволяє отримати числові значення коефіцієнтів гідравлічної ефективності та передачі тепла в навколишнє середовище за розглянутий проміжок часу. Запропоновану методику слід вважати найбільш точною, оскільки математична модель, що лежить в її основі, враховує нестационарність та неізоермічність руху газу і може бути використана при довільних режимах роботи газопроводу. Однак її реалізація викликає затруднення і може бути здійснена в допомігов ЕОМ серії ЕС-1061. З іншого боку шлях спрощення математичної моделі приводить до зростання похибки в визначенні діагностичних ознак аж до спотворення реальної картини стану газопроводу. Абстрагування певних фізичних взаємов'язків в системах диференціальних рівнянь з метою спрощення діагностичної моделі можливе лиш до тих пір, поки одержані результати адекватно відтворюють стан газотранспортної системи.

З метою визначення меж адекватності для кожної з іону-

ких діагностичних моделей стосовно режиму роботи газопроводу, при якому здійснено його обстеження, для різних реальних режимів роботи газопроводів визначались діагностичні ознаки на базі всіх існуючих моделей і знаходилась похибка в їх значеннях по відношенню до результату, одержаного на моделі, яка базується на рівняннях нестационарного неізо-термічного потоку газу. Як неважкі параметри, якими вивчається величина похибки, розглядались критерії подібності режимів течії газу. На основі аналізу рівнянь руху реального газу було одержано структуру критеріїв нестационарності Nt у вигляді:

$$Nt = \delta Q \cdot d / \lambda \bar{w} \tau \quad (1)$$

де δQ - відносна зміна витрати газу за проміжок часу τ ; \bar{w} - середня усереднена лінійна швидкість газу в газопроводі діаметром d з коефіцієнтом гідравлічного опору λ .

Крім встановленого критерію характер залежності похибки в знаходженні діагностичних ознак визначається відомими критеріями Струхала St та Фур'є Fo . Статистичні залежності, побудовані у вигляді лінійної регресії відносної похибки від вказаних критеріїв, дозволили одержати їх граничні значення і визначити таким чином межі застосування різних діагностичних методик. Так, застосування методики, що базується на стаціонарній неізотермічній моделі руху газу, дозволяє одержати значення коефіцієнту гідравлічної ефективності з похибкою, що не перевищує 5% у випадку, коли значення критеріїв нестационарності $Nt < 1.4 \cdot 10^{-6}$ та критерію Струхала $St < 1.85$. При невиконанні вказаних умов по критерію Струхала

відносна похибка у визначенні коефіцієнту гідравлічної ефективності лежатиме в допустимих межах у випадку використання методики, що базується на ізотермічній лінеаризованій моделі течії газу.

Критерій Фур'є визначає адекватність діагностичних моделей по відношенню до неізотермічності руху газу. При значеннях $Fo < 1.75 \cdot 10^{-12}$ похибка у визначенні діагностичних ознак не перевищуватиме задані межі в випадку застосування ізотермічних моделей течії газу.

Особливу складність викликає знаходження діагностичних ознак для лінійних ділянок складних газотранспортних систем. По результатах обстежень складної системи, що включає паралельні нитки, поставлена задача не може бути реалізованою в принципі. Тому запропоновано метод визначення діагностичних ознак по зміні параметрів (тисків, температур, витрат) на границях газотранспортної системи під час нестационарних процесів, викликаних послідовним відключенням лінійних ділянок складної системи. В таких випадках методом зміни стаціонарних станів, використовуючи поняття еквівалентного діаметру для рівних технологічних схем системи, можна визначити початкові наближення значень коефіцієнтів гідравлічного опору рівних ділянок системи. Подальше уточнення їх значень ведеться методом підстроювання моделі яка побудована на принципі агрегативного методу.

Кожна лінійна ділянка складної системи зображається кусково-лінійним оператором, рух газу по якому описується системові рівнянь нестационарного неізотермічного процесу. На границях з'єднання сусідніх кусково-лінійних агрегатів досягається рівність кожного з параметрів, а на границях

системи кожен з параметрів задано у вигляді функції часу, побудованої на основі вимірів параметрів нестационарного процесу з застосуванням вгладжування. Коефіцієнт гідравлічного опору кожного з кусково-лінійних агрегатів вважається підстроювальним параметром, а максимальна різниця між модельованими і фактичними граничними умовами - функцією-відгуком. Розрахунки ведуться ітераційними методами до мінімізації максимального розходження модельних та фактичних значень параметру, яким (з метою прискорення ітераційного процесу) найкраще вибрати тиск на границях системи.

Реалізація побудованої моделі для системи магістральних газопроводів "Братерство" показала, що максимальні відхилення уточнених значень коефіцієнтів гідравлічного опору від їх початкових наближень досягають 30%.

Другу главу присвячено методам визначення кількості рідини в газопроводі, аналізу її властивостей та впливу на діагностичні ознаки.

Аналіз існуючих методів визначення кількості рідини в газопроводі та їх застосування на діючих газопроводах показали, що характерними рисами для них слід вважати недостатню точність з одного боку та необхідність зупинки газопроводу, що вимагає додаткових витрат та зниження пропускної здатності.

Один з запропонованих методів базується на вимірюванні параметрів нестационарного процесу в лінійній ділянці газопроводу, викликаному миттєвим припиненням подачі газу в газопровід з постійною реєстрацією в часі відбору газу в кінці ділянки. Характер падіння тиску в газопроводі при цьому фізично залежатиме від геометричного об'єму газу

проводу, що дасть можливість визначити його частину, яку займає рідина. Поставлена технологічна задача реалізується в математичному моделюванні нестационарного ізотермічного процесу, що дає змогу знайти характер розподілу тиску по довжині газопроводу в окремі моменти часу і визначити частину об'єму газопроводу, яку займає рідина. Запропонований метод за точністю результату співставимий з існуючими методами зміни рівноважних станів, але не вимагає зупинки перекачування газу і отравлення частини його об'єму, що надзвичайно актуально в сучасних умовах. Апробація цього методу на ділянці Богородчани - Голятин газопроводу Урелької-Помарі-Ужгород показала, що час припинення подачі газу в газопровід, достатній для проведення вимірів, складає до 20 хвилини, зниження подачі газу споживачам за цей час не перевищує 55% номінальної витрати.

Принцип іншого запропонованого методу полягає в неперервному контролі вологовмісту газу на границях лінійної ділянки чи газотранспортної системи і визначенні кількості рідини, що випала в газопроводі, як різниці між внесеною і винесеною потоком газу. Досить простий принцип, на якому побудовано запропоновану методику визначення кількості рідини в газопроводі, вимагає неперервного контролю за параметрами транспорту газу (тиском, температурою, витратами), а також точкою роси перекачуваного газу на вході та виході газопроводу. Нестационарність режимів роботи газопроводу вимагає побудови функцій зміни в часі параметрів перекачки і точки роси газу. Поставлена задача реалізується на основі диспетчерських даних про параметри перекачки, реєстровані в дискретним часовим кроком, з вистосуванням регуляції та

вгляджування у класі мультиплікативних моделей авторегресії - проінтегрованого ковзаючого середнього. Запропонований алгоритм реалізовано в програму розрахунку, використання якої для умов системи газопроводів "Братерство" показало достатню точність та ефективність запропонованого методу.

Гідравлічні характеристики лінійних ділянок газопроводу визначаються не тільки кількістю рідкої фази в трубах, але й в значній мірі характером розподілу рідких скупчень по довжині лінійної ділянки. Тому важливе значення приділялось вивченню характеру випадання в трубах крапель вологи, що переноситься потоком газу. Аналітичні дослідження процесу проводились в допоміжній моделі, яка містить рівняння нерозривності та руху двофазного середовища в врахуванням взаємодії між газовим потоком і краплями рідини. Реалізація моделі дозволила одержати функціональний зв'язок насиченості перерізу газопроводу краплями рідини від безрозмірних координат часу і простору. Запропонований метод дозволяє побудувати залежність кількості крапель, що випали з потоку газу від лінійної координати, тобто аналітично встановити характер розподілу відкладень в газопроводі по довжині та в часі.

Адекватність аналітично встановленого характеру розподілу відкладень по довжині газопроводу і в часі експлуатації підтверджується результатами експериментальних досліджень, проведених на базі статистичного матеріалу і відбору проб відкладень під час профілактичного обслуговування лінійних ділянок на газопроводах "Братерство", "Союз" та Уренгой-Помарі-Ужгород. Фізико-хімічний аналіз відібраних проб дав змогу розділити відкладення в порожнині газопроводу на дві кате-

горіт. Перша зустрічається на початкових 25–30 % довжини лінійної ділянки і являє собою смолисті речовини переважно органічного походження з незначними властивостями. За походженням ці відкладення є результатом виносу маюла в нагнітачів потоком газу. Друга категорія являє собою гетерогенну суміш води та легких фракцій газового конденсату.

На основі кореляційного аналізу одержаних результатів побудовано емпіричні залежності товщини високов'язких відкладень та їх фізико-хімічних властивостей від довжини газопроводу і часу. Аналіз результатів експериментальних досліджень підтверджує аналітично одержані залежності перенесення крапельної вологи потоком газу в трубопроводі.

Сумісний кореляційний аналіз статистичних відомостей про кількість рідини в газопроводі і характер зміни гідравлічної ефективності при цьому дозволив побудувати регресійний взаємозв'язок між цими параметрами стану газопроводу. Результати досліджень допомогли вдосконалити метод визначення кількості рідини в газопроводі, розроблений УкрНДІгазом.

Побудовано статистичні залежності зміни коефіцієнту гідравлічної ефективності газопроводів і складних газотранспортних систем в часі їх експлуатації. Якщо для одного ниткового газопроводу залежність ефективності від часу експлуатації носить експоненціально падаючий характер, то для системи паралельних газопроводів ця залежність має періодичний характер з максимумами в літньо-осінній період та мінімумами в зимовий, що пояснюється перерозподілом рідини між нитками внаслідок сезонної зміни лінійних швидкостей

ЛНБ ім. В. Стефанишина
АН України

газу в умовах неповного завантаження багатокиткової складної системи.

Третя глава містить основні принципи параметричного діагностування газоперекачуючих агрегатів в умовах компресорних станцій по параметрах їх роботи на квазістационарних режимах, розрахунки діагностичних ознак та аналіз їх зміни.

Методи діагностування елементів газотурбінної установки на основі зміни термодинамічних параметрів циклу розроблені в працях Поршакова Б.П., Зарицького С.П., Шуровського В.А., Матвеева А.В., Іванова В.А. Статистичні дані, приведені в їх дослідженнях, а також результати спостережень за роботом ГТУ на компресорних станціях УМГ Прикарпаттрансгаз, показують, що найбільш часто трапляється відкази осьового компресора та камери згорання.

Для осьового компресора діагностична модель побудована на основі принципу збільшення енергії газу в ступені, що виражається рівнянням Ейлера для лопаткових машин, з врахуванням термодинамічної неідеальності повітря, теплообміну між повітрям, лопатковим апаратом і навколишнім середовищем, та гідравлічних втрат енергії. Діагностична модель зв'язує термодинамічні параметри процесу (тиск і температуру на вході і виході компресора), фізичні властивості повітря, кінематику обертання ротору з основними геометричними розмірами ступені та коефіцієнтами, що враховують неідеальність моделі та гідравлічні втрати в ступені. Останні об'єднані в комплекси, що використовуються як діагностичні ознаки стану ступені. Для i -тої ступені осьового компресора діагностична модель має вигляд:

$$\varepsilon^{\frac{m-1}{m}} = 1 + \frac{\omega}{R T_B} (\Omega_{21} - \Omega_{21} \varepsilon^{\frac{1}{m}}) Q_{B1} - \frac{A_1}{R T_B} Q_{B1}^{\frac{1}{m}} \quad (2)$$

ε —ступінь стиску; Q_{B1} —витрата; ω —швидкість обертання ротора; m —показник політропи; T_B —температура входу; R —газова стала.

Діагностичні ознаки Ω_{21} , Ω_{21} та A_1 можуть бути знайдені, якщо вказане рівняння записати для трьох стаціонарних режимів роботи ГТУ. Для багатоступінчатого осьового компресора загальний ступінь стиску визначається як їх добуток для кожної ступені. В залежності від можливості відбору повітря для виміру тисків і температур на одній чи декількох ступенях діагностичні ознаки можуть характеризувати стан як конкретної ступені, так і осьового компресора в цілому.

Для реалізації розробленої діагностичної моделі компресора з метою визначення числових значень діагностичних ознак слід аналізувати об'ємну продуктивність при умовах входу в першу ступінь стиску. Оскільки шлях вимірювання цієї величини на будь-якому етапі тракту ГТУ виключається з причини пониження потужності та економічності двигуна, запропоновано метод її визначення за даними вимірів параметрів охолодження робочого тіла в зоні змішування камери згоряння.

При нормальному стані ступені чи компресора кожна з діагностичних ознак коливається в межах гарантійного інтервалу, обумовленого точністю вимірювань, величина якого складає 5% від номінальних значень ознак. Аналізуючи статистичні дані виходу діагностичних ознак за межі гарантійного інтервалу перед характерними відказами для газоперекачуючих агрегатів компресорних станцій УМГ Прикарпаттрансгас, встановлено взаємозалежність між характером відказу та інтенсивністю і способом виходу кожної з діагностичних ознак за

межі гарантійного інтервалу.

Діагностична модель камери згоряння ГТУ базується на рівняннях стаціонарного руху робочого тіла та стаціонарного теплообміну між робочим тілом, вторинним повітрям та навколишнім середовищем. Діагностичними ознаками вважаються коефіцієнти гідравлічного опору камери згоряння та теплопередачі через стінку жарової труби. Як і в попередньому випадку, передбачення відкаву базується на виході діагностичних ознак за межі гарантійного інтервалу.

Використавши модель газової турбіни, побудовану в критеріальному вигляді, і створені моделі осевого компресора та камери згоряння, розроблено алгоритми та методику розрахунку параметрів режиму газотурбінної установки, що дозволяє моделювати несправності в елементах ГТУ шляхом зміни діагностичних ознак в тенденціями їх виходу за межі гарантійного інтервалу при характерних відказах обладнання та систем.

Четверту главу присвячено розробці методів параметричного діагностування газоперекачуючого агрегату по результатах його обстежень на нестационарних режимах експлуатації, до яких в першу чергу слід віднести пускові режими.

Моделюванню нестационарних процесів в трубах присвячено роботи Бобровського С.А., Гусейн-Заде М.А., Жидкової М.О., Чарного І.А., Щербакова С.Г., Яковлева С.І., в яких приведено математичні моделі нестационарних процесів, розроблено методи їх реалізації. Однак, задачі параметричного діагностування вимагають особливого підходу до математичного моделювання руху газу в елементах газоперекачуючого агрегату. Для визначення діагностичних ознак на основі реалізації обернених задач слід вести спрощення моделей таким

чином, щоб полегшити задачу діагностування з одного боку, забезпечивши адекватність моделювання процесу з іншого. Аналіз реальних технологічних процесів експлуатації газотурбінних газоперекачуючих агрегатів на компресорних станціях показує, що умови адекватності будуть в достатній мірі забезпечені при використанні для опису газодинамічних процесів в елементах агрегату лінеаризованої ізотермічної моделі, а для моделювання термодинамічних процесів в камері згоряння - рівняння теплопровідності.

При побудові рівнянь руху та теплопровідності в камері згоряння використовувалась δ -функція джерела з метою моделювання змішування потоків продуктів згоряння і вторинного повітря. Тиск P_{0a} і температура T_{0a} на початку камери згоряння (в зоні факела) визначались витратою і компонентним складом паливного газу і вважалися сталими. Сумарна витрата первинного M_1 і вторинного M_2 повітря приймалась рівною продуктивності осевого компресора, крім того витрата вторинного повітря уточнювалась по відомій температурі T_2 на виході камери згоряння, його тиск P_2 і температура T_2 на вході в зону змішування визначались за умовами політропічного стиску в осевому компресорі. Такий підхід дозволив отримати аналітичні розв'язки, що характеризують розподіл тиску і температури вдовж камери згоряння в часі:

$$P(x, t) = G_p(P_i, M_i, x) + H_p(P_i, M_i, \xi, x, t)$$

$$T(x, t) = G_t(T_i, M_i, x) + H_t(T_i, M_i, k, h, x, t), \quad (3)$$

де G_p, G_t, H_p, H_t - відповідно характеристики стаціонарного і нестаціонарного розподілу тисків і температур як функції

перечислених значень початкових і граничних умов, коефіцієнтів теплопередачі k , теплообміну h , гідравлічного опору ξ , лінійної координати x і часу t .

Вважаючи градієнт тиску на границях камери згоряння пропорційним масовій витраті робочого тіла на основі першого з приведених рівнянь побудовано рекурентну ітераційну процедуру, що дозволяє на основі вимірів в момент часу t нестационарного процесу значень тисків P_i і температур T_i обчислити величину коефіцієнту гідравлічного опору камери згоряння (n - номер ітерації)

$$\xi^{n+1} = \frac{\partial}{\partial x} [G_p(P_i, M_i) + H_p(P_i, M_i, \xi^n, t)]_{x=L} \quad (4)$$

Тепловий потік на границях камери згоряння вважається пропорційним градієнту температур $q = k(\partial T / \partial x)$. Це дає можливість на основі одержаних моделей вибрати як діагностичну ознаку відношення (h/k) , для якого по аналогії одержано рекурентну залежність

$$\left(\frac{h}{k}\right)^{n+1} = \frac{1}{G_i + H_i} \frac{\partial}{\partial x} [G_i(T_i, P_i) + H_i(P_i, T_i, M_i, (h/k)^n, t)]_{x=L}$$

Величини ξ і h/k як діагностичні ознаки запропоновано знаходити в одержаних математичних моделей по результатах вимірів параметрів роботи газотурбінної установки на пускових режимах, і на основі їх тренду оцінювати стан камери згоряння. Побудований на основі вимірів реальних параметрів експлуатації агрегату в умовах КС Ужгород тренд запропоно-

ваних діагностичних ознак має характер близький до лінійно зростаючого.

Для діагностування стану блоку 'турбіна високого тиску-осьовий компресор' на основі балансу потужностей з врахуванням енергетичних втрат ΔN і степеня реактивності турбіни ρ як діагностичну ознаку запропоновано параметр

$\Phi = (1 + \Delta N / N_{ок}) / (1 + \rho) \eta_{ок}$. Показано, як за допомогою розроблених математичних моделей руху робочого тіла в камері

згоряння з врахуванням характеристики осьового компресора обчислити значення вказаного параметру по даних вимірювань показників нестационарного режиму в період пуску ІТУ.

Оцінка стану агрегату здійснюється на основі аналізу тренду запропонованого параметру методами математичної статистики. Результати розрахунків, проведених для реальних умов експлуатації ППА на КС Ужгород, показують що тренд вказаного параметру має лінійно падаючий характер.

З метою діагностування стану відцентрового нагнітача для апроксимації його характеристики було прийнято двочленну модель, коефіцієнти якої вважаються діагностичними ознаками і визначаються в діагностичній моделі, що описує газодинамічний процес в викидній лінії в період завантаження нагнітача. Математична модель включає рівняння нерозривності і руху з врахуванням дії сил інерції та тертя і реалізується при неоднорідній граничній умові третього роду, побудованій на основі характеристики нагнітача в двочленній формі.

В результаті одержано систему алгебраїчних рівнянь, в якій методом Ньютона-Рафсона за даними вимірювань параметрів режиму завантаження нагнітача визначаються діагностичні ознаки. Стан нагнітача оцінюють за характером тренду діаг-

ностичних ознак.

В п'ятій главі викладено теоретичні основи оптимізації керування обслуговуванням елементів газотранспортних систем і приведено результати планування обслуговування реальних об'єктів на основі розроблених методик, алгоритмів і програм розрахунку.

Фундаментальні дослідження в галузі теорії обслуговування складних технічних систем належать працям Бразилевича Е.Ю., Бусленка Н.П., Каштанова В.А. Однак, використані моделі мають досить загальний характер, що викликає необхідність їх адаптації до особливостей і умов об'єктів магістрального газопроводу.

Оптимізація технічного обслуговування полягає в виборі найефективнішої стратегії з декількох можливих. Вона повинна бути реальною і забезпечувати екстремум функції мети, яка представлена питомими середніми затратами для стаціонарного режиму обслуговування $O(\tau)$

$$O(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^n a_i M(T(\tau)_i)}{M(T(\tau)_0)} \quad (5)$$

де: $M(T(\tau)_i)$ - відповідно математичні очікування часу перебування елемента чи системи в аварійному ($i=1$) чи профілактичному ($i=2$) ремонті, або в робочому стані ($i=0$);
 a_i - відповідно середні питомі затрати на проведення аварійного ($i=1$) та профілактичного ($i=2$) ремонту.

Загальний підхід до вибору оптимальної стратегії

обслуговування газопроводу може бути розбитий на два етапи: вибір доцільних стратегій в множини можливих шляхом виключення тих, що неможливо реалізувати в даних умовах експлуатації; оптимізація параметрів обслуговування в рамках кожної з доцільних стратегій і вибір такої, що забезпечує екстремальне значення функції мети.

Множину доцільних стратегій обслуговування об'єктів газотранспортної системи запропоновано представити в вигляді шести наступних стратегій. Стратегія А полягає в тому, що повне відновлення працездатності обладнання системи проводиться в заздалегідь визначених календарних моментах часу незалежно від числа аварійних відказів за цей період. По мірі виникнення відказів обладнання виконуються аварійні ремонти, спрямовані на відновлення працездатності шляхом заміни або ремонту елемента чи блоку, що відказав. Модель стратегії В відрізняється від описаної тим, що в ній робиться припущення про повне відновлення характеристик надійності в результаті проведення як планових, так і аварійних ремонтів і перепланиування планових ремонтів після кожного аварійного відказу. До стратегій, що базуються на методах планування по досягненню заданого наробітку, відноситься стратегія С. Згідно з нею припускають, що обладнання, яке обслуговується, повністю відновлюється по досягненні наробітку незалежно від числа відказів за цей період; по мірі виникнення відказів проводяться аварійні ремонти, спрямовані на відновлення працездатності обладнання шляхом заміни (включення резерву) або ремонту агрегата, блоку, елемента. Прогресивними в плані оптимізації системи обслуговування газоперекачуючих агрегатів на компресорних стан-

ціях слід вважати стратегії D і E, що базуються на використанні інформації про стан обладнання в періоди контролю. Суть стратегії D полягає в тому, що повне відновлення працездатності об'єкту обслуговування досягається при певному технічному стані, який ідентифікується шляхом періодичного контролю; аварійні ремонти виконуються по мірі виникнення відкавів. Стратегія E відрізняється тим, що границя розвитку області працездатних станів змінна і залежить від конкретної реалізації вектора станів агрегату, як складної системи. Стратегія F - це пасивна стратегія обслуговування, яка полягає в проведенні тільки аварійних ремонтів обладнання, що відкавало. До неї вводиться суть стратегії A в випадку, коли проведення планових ремонтів не доцільне в зв'язку з тим, що вони можуть погіршити показники якості функціонування системи.

Як впливає в основній теоремі відновлення, множина функцій розподілу періодичності планових відновлювальних робіт, на якій слід шукати екстремум функції мети, може бути обмеженою на множині вироджених розподілень, тобто періодичність планових ремонтів повинна бути не випадковою величиною. Для практичної реалізації задачі в множині коренів рівняння локальних екстремумів знаходиться значення, при якому досягається абсолютний мінімум функції мети.

Характерною в практиці експлуатації газопроводів є ситуація, для якої об'єм інформації про надійність об'єкту недостатній, або відсутній взагалі. В таких випадках пропонується використати мінімакний підхід до реалізації задачі оптимального обслуговування, у відповідності з яким метою оптимізації є визначення такого графіка перевірок або обслуговувань, який би забезпечив мінімум максимально можливих

середніх сумарних витрат на експлуатацію системи.

Розглянуто також задачу керуванням обслуговування різнотипних об'єктів в умовах централізованої системи обслуговування. Мета задач керування обслуговуванням - складення оптимального графіка планових відновлюючих ремонтів технічного обладнання на об'єктах зони централізованого обслуговування та ремонту системи газопостачання. Оптимальний розклад технологічного обслуговування визначається в умови вибору значень $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_1, \dots, \tau_m$, які забезпечать максимум показників якості функціонування комплексу технологічних об'єктів в зоні централізованого обслуговування. Критерієм оптимізації системи ремонтів пропонується використати техніко-економічний показник, що виражає середні сумарні витрати на експлуатацію системи. В такому випадку розв'язок задачі полягає в складанні показника середніх сумарних питомих витрат і зводиться до процедури

$$\min_{\tau} C(\bar{\tau}) = C(\tau^*). \quad (6)$$

Складено алгоритм і розроблено пакет програм для реалізації запропонованих методів оптимізації обслуговування об'єктів систем газопостачання.

Газоперекачуючі агрегати як об'єкти обслуговування являють собою складні та енергоємні технічні системи. В зв'язку з цим їх обслуговування неможливе без постійного контролю за станом машини. Нормальна експлуатація агрегату допустима лиш до деякої межі, обумовленої зміною в валежності від наробітку основних показників (наприклад,

коефіцієнту корисної дії). В цих умовах важливе значення приділяється прогнозуванню залишкового ресурсу машини, мета якого – визначити критичний (граничний) стан до заміни елементів або до наступного капітального ремонту. Запропонований метод прогнозування залишкового ресурсу ГПА базується на спостереженнях в процесі експлуатації за зміною експлуатаційних параметрів, відхилення яких можуть суттєво порушити норми економічності, а також безпеки експлуатації компресорної станції. Для кожного параметру визначається граничне значення, до досягнення якого експлуатація машини вважається нормальною. Принцип знаходження граничного значення наробітку машини визначається максимумом критерію економічної ефективності збільшення ресурсу до ремонту f , як функцією інтенсивності відмов λ , вартості заміни зношуваних деталей C_0 , коефіцієнтом варіації визначального параметру V і величини ресурсу t , тобто

$$f(\lambda, C_0, V, t) \quad \max \text{ при } \eta_{\text{гпа}}(t) > \eta_{\text{гпа}}(T_{\text{кр}}) \quad (7)$$

На практиці для реалізації вказаної умови необхідно побудувати середню функцію зміни к.к.д. агрегату для групи однотипних машин в умовах компресорної станції і далі встановити на базі статистичних методів допустимі відхилення функції зміни к.к.д. по відношенню до середнього значення. Знаючи критичне значення к.к.д. агрегату $\eta_{\text{кр.гпа}}$, можна визначити величину залишкового ресурсу, що дозволить оптимізувати процес обслуговування.

Шосту главу присвячено розробці раціонального планування капітальних ремонтів обладнання і визначення

об'єму запасних частин з метою підвищення надійності газо-транспортної системи.

Періодичність капітальних ремонтів обладнання КС визначається наближено, шляхом врахування тільки термінів служби основних деталей. Тому надійне планування числа ремонтів з одночасною оптимізацією термінів служби обладнання КС, інтенсивності поставок нових вузлів і агрегатів дозволить вирішити задачу науково обгрунтованого вибору потужності ремонтної і обслуговуючої бази, числа бригад, а також термінів капітальних ремонтів, зв'язаних з оптимальною інтенсивністю поставок нових ППА.

Планування ремонтних робіт і технічних обслуговувань повинно базуватися перш за все на врахуванні і оцінці даних, одержаних під час контролю за працездатним обладнанням, який дозволяє виявити і усунути неполадки і звести до мінімуму ремонт зупинков обладнання, своєчасно замінити вузли і деталі.

Розроблена методика прогнозування обслуговування має за мету визначити оптимальне число ремонтів, які слід виконати кожного року на протязі в T_1 -го до T_2 -го року, а також очікувану кількість агрегатів на кінець року вказаного періоду в системі компресорних станцій, яка за період експлуатації поповнюється новим обладнанням з інтенсивністю $v(t)$. Під оптимальною періодичністю заміни слід розуміти контроль з заданою надійністю, який без зниження готовності машин при мінімальній вартості забезпечить необхідний рівень технічного стану в рамках технічного ресурсу.

Для реалізації поставленої задачі необхідно мінімізувати значення функції сумарних приведених витрат, тобто

$$\Phi = C_0(v, T_0) + C_{p,i,j}(v, T_0) + C_{T,i,j}(v, T_0) \rightarrow \min, \quad (8)$$

де $C_{p,i,j}$ - сумарні приведені затрати на ремонт агрегатів при значенні показника якості ремонту q_j для i -того значення передремонтного періоду; $C_{T,i,j}$ - сумарні приведені об'язчі експлуатаційні затрати.

Для кожної комбінації характеристик середньої тривалості періоду до першого планово-попереджувального ремонту $T_{дп}$ і коефіцієнту якості ремонту q мінімум приведеної функції може бути знайдено відповідним підбором значень інтенсивності поставок $v(t)$ і середнього нормативного терміну служби T_0 . Якщо в момент T_i функція наявності $N(T_i)$ приймає значення A_i ($i=0,1$), то інтенсивність поставок

$$v = v(A_0, A_1, T_0, t). \quad (9)$$

Значить, оптимізація керування періодичністю ремонтів зводиться до визначення оптимальних значень середнього терміну служби T_0 , середньої тривалості експлуатації до першого планово-попереджувального ремонту $T_{дп}$, коефіцієнту якості ремонту q . Кожне значення коефіцієнту якості ремонту зв'язане з відповідною технологією ремонту, тому число можливих значень q невелике.

Оптимізація керування періодичністю ремонтів знаходиться в наступній послідовності: задаються одним з значень коефіцієнту якості q_j і підбирають можливі значення $T_{дп}$, визначаючи для кожної комбінації $(q, T_{дп})$ термін служби T_0 , при якому функція Φ приймає найменше значення. Найб'ір зна-

чень $T_{с}^*$, $T_{дч}^*$, q^* , при яких функція Φ приймає мінімальне значення, вважають оптимальним керуванням обслуговування системи.

Оперативна система обслуговування обладнання магистральних газопроводів повинна бути забезпечена достатнім резервом запасних елементів, які встановлюють замість несправних. Вузли, що відказали, вибувають з офери обслуговування і поступають на ремонтні бази. Така система вимагає обґрунтованого вибору об'єму запасних частин і періодів їх відновлення, що має безпосередній вплив на коефіцієнт готовності газотранспортного обладнання $k_{г}$.

$$k_{г} = k_{г}^* P_{д} \quad (10)$$

де $k_{г}^*$ - коефіцієнт готовності обладнання при необмеженому комплекті запасних частин; $P_{д}$ - коефіцієнт забезпечення обладнання КО запасними елементами, що залежить від середнього часу простоя агрегатів через відсутність запасних частин $T_{дч}$.

Останні два показники вважаються критеріями достатності забезпечення обладнання компресорних станцій запасними частиними.

Точний розрахунок номенклатури і кількості запасних частин базується на фізичній моделі виникнення відказів, показниках довговічності і безвідказності, а також значеннях регламентованої імовірності, що забезпечує необхідний рівень надійності деталі при регулярній її заміні в числа комплекту запасних частин.

На основі сказаного розроблено методику визначення об'єму запасних частин обладнання компресорних станцій для

випадку відновлюваних і невідновлюваних елементів. При інтенсивності відкавів i -го елемента λ_i за час t імовірність того, що число відкавів m_i не перевищує числа запасних частин $k_{за}$

$$P(m_i < k_{за}, \lambda_i, t) = P_{в}. \quad (11)$$

Приведену умову покладено в основу методики розрахунку необхідного об'єму запасних частин за приведеною розрахунковою схемою в використанні комплексу розроблених номограм.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

1. На основі досліджень структур енергетичних втрат в потоці газу встановлено, що доля інерційних втрат складає 1-44%, в зв'язку з чим для адекватної оцінки діагностичних ознак розроблено методику, що базується на нестационарній неізотермічній моделі течії реального газу в трубах.

2. Показано, що адекватність різних діагностичних моделей характеру течії газу в газопроводі може бути визначена за допомогою критеріїв нестационарності Nt , Струхала St і Фур'є; встановлено граничні значення критеріїв $Nt = 1.4 \cdot 10^{-6}$, $St = 1.85$, $Fo = 1.75 \cdot 10^{-4}$, використовуючи які можна вибрати спрощену методику визначення діагностичних ознак з похибкою, що не перевищує 5%.

3. Запропоновано методику визначення гідравлічної ефек-

тивності діляниць складних газотранспортних систем за параметрами нестационарних режимів, викликаних зміною технологічних схем складної системи, яка дозволяє скоректувати розрахункові значення коефіцієнту гідравлічної ефективності на величину до 30%.

4. На основі досліджень процесу переносу крапельної вологи потоком газу по газопроводу одержано аналітичні залежності, що дозволяють оцінити характер розподілу відкладень в порожнині газопроводу по довжині і в часі; експериментальні і статистичні дані добре узгоджуються з теоретичними. Запропоновано методи визначення кількості відкладень в порожнині газопроводу по параметрах нестационарного процесу і на основі аналізу вологовмісту газу.

5. Запропоновано методику оцінки стану елементів газоперекачуючого агрегату в умовах компресорної станції на основі динаміки зміни діагностичних ознак, що визначаються в розроблених діагностичних моделях за параметрами роботи машини на квазістационарних режимах. Реалізація запропонованої методики показала можливість передбачення відкаву і його характеру за 6-12 годин до виникнення.

6. Створено математичні моделі, що описують динаміку зміни параметрів експлуатації елементів газоперекачуючого агрегату на нестационарних режимах, реалізація яких дозволяє визначити діагностичні ознаки в період запуску ІПА. Оцінка стану машини по тренду діагностичних ознак дозволяє вдосконалити систему обслуговування обладнання.

7. Теоретично обгрунтовано вибір оптимальної стратегії обслуговування об'єктів газотранспортної системи з шести, що реалізуються (в тому числі заснованих на періодичному конт-

ролі стану обладнання і впливом побудови функції мети, яка мінімізує загальні затрати на експлуатацію з врахуванням обслуговування. Розроблені методику розрахунку залишкового ресурсу газоперекачуючого агрегату, об'єму запасних частин і раціонального планування ремонтів дозволяють визначити оптимальні параметри стратегії обслуговування, що базуються на діагностуванні стану обладнання. Впровадження результатів досліджень в вигляді нової техніки і технології, пакетів прикладних програм і рекомендацій по удосконаленню системи обслуговування об'єктів газотранспортних систем ВО Укргазпром і Севергазпром дозволили одержати на протязі 1981-1991 років економічний ефект в розмірі 1 057 тис. крб.

Основний зміст роботи викладено в наступних друкованих працях:

1. Яковлев С.И., Казаков О.С., Михалкив В.Б., Тимкив Д.Ф., Грудз В.Я. Режимы газотранспортных систем. - Львів.: Світ, 1993. - 170с.
2. Грудз В.Я., Тимкив Д.Ф., Яковлев Е.И. Обслуживание газотранспортных систем. - Київ.: УМКВО, 1991. - 159 с.
3. Грудз В.Я., Тимкив Д.Ф., Манько В.З. Оптимизация процесса очистки полости магистрального газопровода. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. Вып. 24. 1987. с. 88-89
4. Грудз В.Я., Михалкив В.Б., Манько В.З. Построение характеристик ГПА по данным диспетчерской службы. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. Вып. 23. 1986. с. 84-85
5. Грудз В.Я., Гимер Р.Ф., Натяна П.М., Переяслов В.И.

Определение диаметра сечи для продувки газопроводов с применением механических средств очистки. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. Вып. 13. 1976. с. 109-111

6. Грудз В.Я., Гимер Р.Ф. Эффективность очистки газопроводов очистными устройствами разных конструкций. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. Вып. 15. 1978. с. 118-120

7. Грудз В.Я., Калинин С.И. Влияние теплового режима газопроводу на эффективность його роботи. // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Вып. 31. 1994. с. 107-111

8. Грудз В.Я., Хизгилов И.Х., Касперович В.К., Ших А.Р. Определение оптимальной длины конечного участка газопровода. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. Вып. 9. 1972. с. 92-94

9. Грудз В.Я., Глоба Е.В., Михайлов В.В. О выборе рациональной скорости движения очистных устройств по газопроводу. // Транспорт, хранение и использование газа в народном хозяйстве. ВНИИГАЗПРОМ, Вып. 7. 1983. с. 22-25

10. Грудз В.Я., Гимер Р.Ф., Натина П.М., Переяслов В.Н., Новикова В.Е. Об эффективности работы магистрального газопровода. // Нефтяная и газовая промышленность, №1, 1976. с. 27-28

11. Грудз В.Я., Хизгилов И.Х., Переяслов В.Н., Попелух Я.И. К вопросу о динамике движения очистных устройств по газопроводу. // Нефтяная и газовая промышленность, №3. 1975. с. 31-32

12. Грудз В.Я., Хизгилов И.Х., Переяслов В.Н. Влияние скорости движения очистных устройств на эффективность продувки газопроводов. // Нефтяная и газовая промышленность, №6. 1974. с. 29-30

13. Грудз В.Я. Эффективность очистки газопроводов мас-

гократним пропуском очистного устройства. //Строительство трубопроводов, №6, 1977.с.29-30

14. Атанасов Г.С., Грудв В.Я., Гой И.М., Калин С.И., Мыхалик В.Б. Трубопроводный транспорт сероводородных газов малых месторождений. Газовая промышленность, №4, 1990.с.49-50

15. Калин С.И., Грудв В.Я. Про витиснення твердим тілом неїттоновської рідини в трубопроводу. //Нафтова і газова промисловість. №4, 1990.с.36-37

16. Мыхалик В.Б., Грудв В.Я., Шибнев А.В., Зверева Т.В. Определение количества отложений во внутренней полости действующих газопроводов. // Транспорт, хранение и использование газа в народном хозяйстве. -ВНИИГАЗПРОМ, вып.5, 1983.с.16-17

17. Мыхалик В.Б., Грудв В.Я., Шибнев А.В., Зверева Т.В. Об оптимальной периодичности очистки полости газопровода. //Транспорт, хранение и использование газа в народном хозяйстве. -ВНИИГАЗПРОМ, вып.6, 1983.с.8-9

18. Грудв В.Я., Загородня О.В. Еибір газодинамічних моделей для діагностування лінійних ділянок газопроводів. //Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Вип.29. 1992.с.83-85

19. Грудв В.Я., Хивгилов М.У., Перьялов В.Н. Анализ движения газа в ресивере при продувке магистрального газопровода. //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. Вип.12, 1975, с.97-98

20. Перун Я.В., Лисевич Т.И., Грудв В.Я., Бабенко Н.В. Расчет дренажной защиты газопроводов от воздействия оползней. //Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. Вип.12, 1975, с.97-98

21. А.с. 597442 СССР МКИ[®] в об. в 9/04 Устройство для очистки трубопроводов. /В.Я. Груда, Р.Ф. Гимер, П.М. Натна В.П. Хомин, Л.М. Кучеровская (СССР)- №2364226 Заявлено 30.03.76 Опубл. 15.03.78 Бюл. №10-2с.: 1л ил.

22. А.с. 716650 СССР МКИ[®] в об. в 9/04 Устройство для очистки полости газопровода. /В.Я. Груда, Р.Ф. Гимер, П.М. Натна В.П. Хомин (СССР)- №264307Е Заявлено 10.07.76 Опубл. 15.03.78 Бюл. №7 - 1с.: 1л ил.

23. А.с. 988389 СССР МКИ[®] в об. в 9/04 Устройство для очистки полости газопровода от жидких скоплений. /В.Я. Груда, С.И. Калинин, В.Б. Михайлов, Д.Ф. Тымков (СССР)- №156384/31-12 Заявлено 02.12.86 Опубл. 23.05.88 Бюл. №19 - 2с.: 1л ил.

24. А.с. 857625 МКИ[®] в об. в Устройство для локализации места течи в трубопроводе. /Г.П. Лисафин, К.Д. Фролов, В.Я. Груда, Я.Д. Кушнир (СССР)- №336058/25-68 Заявлено 23.11.81 Опубл. 30.03.83 Бюл. №12-2с.: 1л ил.

25. Груда В.Я., Евсеев Е.М., Тымков Д.Ф. Режим работы магистральных газопроводов в период продувки. /ИФИНГ² - Ивано-Франковск, 1987-8с.: ил. - Библиогр.: Деп. в УкрНИИТИ, 26.02.87. №857

26. Груда В.Я., Корсаунов С.Н., Тымков Д.Ф. Выбор математических моделей течения газа в газопроводе при решении обратных задач. /ИФИНГ - Ивано-Франковск, 1987- 6 с.: ил. - Библиогр.: Деп. в УкрНИИТИ 26.02.87. №859

27. Груда В.Я. и др. Повышение эффективности удаления жидкости из трубопровода путем применения ПАВ. /Груда В.Я., Тымков Д.Ф., Михайлов В.Б., Калинин С.И. ИФИНГ - Ивано-Франковск, 1987- 8с.: ил. - Библиогр.: Деп. в УкрНИИТИ 04.05.87 №134

28. Груда В.Я., Загородня Е.В. Выбор качества информации для оперативного управления режимами газотранспортной сис-

темы./ИЖИНГ- Ивано-Франковск, 1992-, с.: ил.-Библиогр., Деп. в УкрНИИТИ 05.08.92 N1178

29.Груда В.Я., Загородня Е.В. Определение объема информации для расчета оптимальных режимов перекачки газа по газопроводам./ИЖИНГ- Ивано-Франковск, 1992 - с.5 ил.- Библиогр.: Деп.в УкрНИИТИ 28.07.92 N1164

30.Груда В.Я., Загородня Е.В. Оценка рационального количества контролируемых параметров на газопроводах./ИЖИНГ- Ивано-Франковск, 1992- 8 с.: ил.-Библиогр.: Деп.в УкрНИИТИ 28.07.92 N1165

31.Груда В.Я. Исследование процесса переноса влаги потоком газа по газопроводу./ИЖИНГ - Ивано-Франковск, 1994-12 с.: ил. - Библиогр.:Деп.в УкрНИИТИ 30.04.94 N873

32.Груда В.Я. Анализ свойств с оплений в полости газопровода./ИЖИНГ-Ивано-Франковск, 1994-8с.: ил.-Библиогр.: Деп.в УкрНИИТИ 30.04.94 N 874

33.Груда В.Я.Принцип параметрической диагностики состояния центробежного нагнетателя на компрессорной станции./ИЖИНГ-Ивано-Франковск, 1994 -10 с.: ил.-Библиогр.: Деп.в УкрНИИТИ 30.04.94 N 875

34.Груда В.Я.и др. Методика диагностики состояния магистрального газопровода:Ри.-Киев.:Час, 1990.

35.Михалкив В.В., Груда В.Я., Калин С.И.Методика оптимизации процесса очистки полости магистральных газопроводов: Ри-Киев, Час, 1990.

36.Яковлев Е.И., Кисель П.Л., Михалкив В.В., Груда В.Я. Методика оперативного диспетчерского управления режимами сложных газотранспортных систем:Ри-Киев, Час, 1990.

37.Яковлев Е.И., Михалкив В.В., Казаак А.С., Груда В.Я. Ме-

тодика расчета сложных газотранспортных систем с пере-
менным профилем трассы: РИ-Киев, Час, 1990.


38. Грудз В.Я., Тымкив Д.Ф., Мельницкий И.О. Анализ надеж-
ности и живучести газотранспортных систем в горных условиях.
//Тез. докл. на Всесоюз. научн.-техн. конф. Проблемы трубопро-
водного транспорта нефти и газа, 4 окт. 1985 г. -Ивано-
Франковск, 1985, С.158.

39. Грудз В.Я., Михалкив В.Б., Калин С.И., Менько В.З. Пара-
метрическая диагностика газоперекачивающих агрегатов комп-
рессионных станций магистральных газопроводов//Тез. докл. на
Всесоюз. научн.-техн. конф. Проблемы трубопроводного тран-
спорта нефти и газа, 4 окт. 1985 г. Ивано-Франковск, 1985, С.203.

40. Грудз В.Я., Тымкив Д.Ф., Коршунов С.И. Построение ма-
тематических моделей элементов ГТУ с целью диагностики их
состояния//Тез. докл. на Всесоюз. научн.-техн. конф. Проблемы
научно-технического прогресса в трубопроводном транспорте
газа, 17 май 1987 г. -Тюмень, 1987, С.14.

41. Грудз В.Я., Тымкив Д.Ф., Михалкив Я.Б. Анализ очистки
полости газопроводов ПО Прикарпаттрансгаз и разработка ме-
роприятий по ее повышению//Тез. докл. на Всесоюз. научн.-техн.
конф. Проблемы научно-технического прогресса в трубопроводном
транспорте газа, 17 май 1987 г. -Тюмень, 1987, С.74-75

42. Королева И.А., Ким А.О., Грудз В.Я. Направления совершен-
ствования систем управления газотранспортными комплексами в
современных условиях//Тез. докл. на Всесоюз. научн.-техн. конф.
Проблемы развития нефтегазового комплекса страны, 4 Июн. 1991
г. -Красный Курган, 1991, С.Е4.

 В. Грудз

Gruds V.Ya. The elaboration of the diagnosis methods of the gas-transporting systems on the non-stationary regimes and the efficiency enganoing of its service.

The dissertation to the looking for the scientific degres of the master of science on the speciality 05.15.13-The building and expluataion of the oil-and-gas transporting systems, depositories.

The Ivano-Frankovsk State Technical University of oil and gas. Ivano-Frankovsk, 1995.

Forty two scientific papers (monographie, textbook, 4 autor's certificates) dealing with the investigations of unsteady processes in gas-transporting systems are proposed to be defended.

The new diagnostic methods of the state of linear pipeline portion and compressor stations that ensure mastering the process of the equipment maintenance have been elaborated on the base of the aforesaid investigations. The degree of gas-thermo-dynamic regime influence upon the mathematical simulation adiquity of the technological processes in the gas-transporting systems has been determined as well.

Груда В.Я. Разработка методов диагностики газотранспортных систем на нестационарных режимах и повышения эффективности их обслуживания.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.13 - Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ, Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 1995.

Защитается 42 научные работы (монография, учебное пособие, 4 авторских свидетельства), содержат исследования нестационарных процессов в элементах газотранспортных систем и на их основе разработаны новые методы диагностики состояния линейной части и компрессорных станций, которые позволяют совершенствовать процесс обслуживания оборудования. Установлено влияние нестационарности газотермодинамических режимов в системах на адекватность математического моделирования технологических процессов.

Ключові слова:

діагностика, нестационарний процес, стратегія обслуговування

Підписано до друку 05.04.95 р., ф. 60 x 84.
I/16. зсм. 59, др. арк. 2, 5, тираж 100.
Івано-Франківський державний технічний
університет нафти і газу.
Дільниця оперативної поліграфії, Карпатська 15.

Table V. The characteristics of the diagnostic systems of the
new diagnostic systems of the gas transport system and
the diagnostic systems of the system.

The diagnostic system of the gas transport system is based on the
building and maintenance of the diagnostic system of the
system, diagnostics.

The diagnostic system of the gas transport system of the
gas transport system, 1975.

Only two scientific papers (monographs, author's
certificates) dealing with the investigation of diagnostic
systems in gas transport systems are reported to be
published.

The diagnostic system of the gas transport system of the
gas transport system is based on the building and maintenance
of the diagnostic system of the gas transport system. The
diagnostic system of the gas transport system is based on the
building and maintenance of the diagnostic system of the
gas transport system, 1975.

The diagnostic system of the gas transport system of the
gas transport system is based on the building and maintenance
of the diagnostic system of the gas transport system, 1975.

The diagnostic system of the gas transport system of the
gas transport system is based on the building and maintenance
of the diagnostic system of the gas transport system, 1975.

The diagnostic system of the gas transport system of the
gas transport system is based on the building and maintenance
of the diagnostic system of the gas transport system, 1975.

453253

AB 32.627

AB 32.627