

656.13.00  
R59.

Івано-Франківський державний технічний  
університет нафти і газу

**КОЗАК ВОЛОДИМИР РОМАНОВИЧ**

УДК 622.76.629.113

**РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ ВІБРОДІАГНОСТИЧНИХ  
СИСТЕМ ДЛЯ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК АВТОМОБІЛЬНИХ  
ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНИХ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ**

П/КМВ

Спеціальність 05.15.13 – Нафтогазопроводи, бази та сховища

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



ІВАНО-ФРАКІВСЬК - 2000

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському державному технічному університеті нафти і газу, Міністерство освіти України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор Грудз Володимир Ярославович, Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтоховищ, м. Івано-Франківськ.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Заміховський Леонід Михайлович**, Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри автоматизованого управління, м. Івано-Франківськ; кандидат технічних наук **Ізбаш Віктор Іванович**, НАК "Нафтогаз України", ДК "Укртрансгаз", заступник начальника управління експлуатації та реконструкції компресорних станцій, м. Київ

Провідна установа: ВАТ ІВП ВНІІТрансгаз, м. Київ

Захист відбудеться " 31 " *травня* 2000 р. о *14* год. *30* хв. на засіданні державно Україна, і.

З дисерта  
Франківс  
м. Івано-С

Авторефе

Вчений се  
спеціаліс  
д-р техніч

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Останнім часом в багатьох країнах світу велику увагу приділяють природному газу, як моторному паливу. Це обґрунтовується не тільки економічними, але й екологічними факторами. В більшості випадків екологічний фактор є пріоритетним.

Зважаючи на стан справ з рідким нафтовим моторним паливом, економічну та екологічну актуальність цієї проблеми, заміна моторного палива природним газом в автомобільному транспорті є задачею надто актуальною.

Україна – одна з провідних держав по використанню природного газу, як палива в автомобільному транспорті. Мережа автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) в Україні спроможна забезпечити природним газом, в якості моторного палива, до 80 тисяч автомобілів.

На АГНКС експлуатуються сотні різних компресорних установок (КУ). Багаторічні данні їх експлуатації стверджують, що міжремонтний період, затрати на ремонт визначаються вчасним ремонтом, надійністю і довговічністю окремих запчастин і агрегатів КУ.

Існуюча система планово попереджувальних ремонтів (ППР) не передбачає проведення ремонтів залежно від фактичного стану КУ з урахуванням технічної і економічної доцільності. Цей перехід можливий тільки на основі розвиненої методології і технічних засобів, що забезпечують діагностування КУ АГНКС, впровадження нових форм і методів технічного сервісу.

Сутність цих методів полягає в тому, що вони:

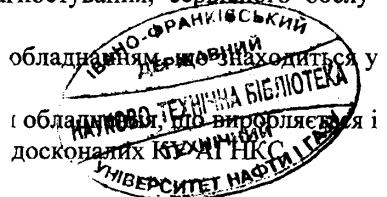
- дозволяють з високою точністю і надійністю оцінити технічний стан вузлів і агрегатів;
- вчасно провести необхідні ремонти, не допустити аварійних зупинок КУ і виходу обладнання з ладу.

Визначився ряд проблем, що впливають на надійність і економічність роботи АГНКС:

- створення єдиної структури управління експлуатацією і ремонтом КУ АГНКС;
- організація комплексного ремонту, діагностування, сервісного обслуговування і виготовлення запасних частин;
- організація поточної експлуатації;
- збір інформації і розробка пропозицій



as422



Перші роботи у галузі діагностики з'явилися у 40-х роках, їх кількість неухильно зростає. Машинобудівні фірми пішли на деякі конструктивні заходи, які сприяють одержанню більш широкої інформації про стан вузлів, що дають можливість розміщення засобів поточного контролю.

Світова практика діагностичних досліджень показала, що чим складніше механізм, тим важче знайти загальні характерні діагностичні ознаки навіть стосовно до механізмів і машин, які працюють за одним принципом.

Пошук діагностичних параметрів не може бути ефективним без проведення аналізу результатів великої кількості експериментальних досліджень. Саме тому кількість розробок у галузі діагностики росте.

Аналіз літературних джерел і патентних досліджень, пов'язаний з вібродіагностикою компресорних установок АГНКС в умовах експлуатації показав, що досі відсутні дослідження по визначенню параметрів, які б окреслювали технічний стан КУ.

Проведений аналіз систем діагностики в різних галузях дозволяє зробити висновок, що вібраційні сигнали несуть найбільшу інформацію про технічний стан КУ в порівнянні з іншими методами. Проте розробка систем і методів діагностики є специфічною і ускладнюється тим, що АГНКС є об'єктом підвищеної вибухо- і пожежної небезпеки і поставити експеримент (наприклад, встановити на КУ дефектний вузол і зняти вібраційні характеристики) не завжди можливо. Тому тема роботи, що пов'язана з розробкою методів і засобів вібродіагностики КУ АГНКС є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася у відповідності з централізованими темами АТ "Укргазпром": "Розробка системи діагностування і сервісного обслуговування АГНКС" (№ ГР 0190038160); "Аналіз працездатності і розробка технології діагностування і сервісного обслуговування АГНКС" (№ ГР 01.91.00.27205); "Проведення віброобслідувань для набору статистичних даних з уточнення діагностичних ознак КУ АГНКС і авторський нагляд за дослідною партією діагностичних приладів" (№ ГР UA 010001388); "Обробка вібродіагностичної інформації для діагностування компресорних установок АГНКС і збільшення міжремонтного періоду" (№ ГР 0193 U 027755); "Розробка стаціонарної системи віброконтролю і діагностування КУ АГНКС" (№ ГР 0195U018633); "Розробка та оснащення дослідної пересувної спеціалізованої лабораторії, проведення комплексного діагностування основного та допоміжного обладнання КУ АГНКС". (№ ГР 0195U018633).

**Мета і задачі дослідження.** Розробка методів і засобів вібраційної діагностики КУ АГНКС, які дозволяють здійснювати оперативний контроль

технічного стану без зупинки агрегатів і не допускають аварійних ситуацій на АГНКС.

оставлена мета досягається шляхом вирішення наступних задач:

- аналіз показників надійності експлуатації КУ АГНКС різних типів на основі параметрів їх експлуатації;
- дослідження динаміки процесів в КУ АГНКС, які визначають їх віброактивність;
- експериментальні дослідження для визначення вібраційних характеристик основних вузлів КУ АГНКС;
- розробка методів та алгоритмів моделювання та ідентифікації технічного стану основних елементів КУ АГНКС;
- розробка принципів формування системи вібродіагностування КУ АГНКС;
- створення приладів і систем діагностування КУ та впровадження їх на АГНКС України.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що вперше на базі методів механіки і вібродіагностики одержані:

- принцип формування системи діагностування технічного стану КУ АГНКС;
- результати теоретичних досліджень динамічних особливостей КУ АГНКС, що визначають віброактивність його основних вузлів;
- результати експериментальних досліджень вібраційних характеристик КУ АГНКС;
- залежності між вібраційними параметрами і технічним станом основних вузлів КУ АГНКС, виявлені у результаті теоретичних і експериментальних досліджень;
- методика і організація діагностики КУ АГНКС;
- результати впровадження методів і пристроїв діагностики в умовах експлуатації на АГНКС.

Розроблені функціональні схеми, апаратні і програмні засоби системи вібродіагностики КУ АГНКС;

**Практичне значення одержаних результатів** роботи полягає:

- в застосуванні в промисловості розроблених методів і моделей вібраційного діагностування, що дозволяють своєчасно виявляти дефектні вузли компресорних установок АГНКС;
- здійснювати заходи по відновленню їх технічного стану, попередження аварійних ситуацій на АГНКС і забезпеченню надійної і ефективної роботи компресорних установок АГНКС України.

**Вірогідність одержаних результатів** забезпечується коректністю постановок задач, застосуванням експериментальних задач досліджень з використанням сучасних методів і засобів діагностування компресорних установок АГНКС, а також узгодженням одержаних висновків з результатами натурних досліджень

**Особистий внесок здобувача** полягає в проведенні:

- теоретичних досліджень динамічних особливостей КУ АГНКС, які визначають віброактивність її основних вузлів [2,3];
- розробок принципів формування системи діагностування КУ АГНКС [1,8];
- розробок функціональних схем та програмного забезпечення [4,6,7];
- впровадження пристроїв і методів діагностування КУ АГНКС України [7];

**Апробація результатів роботи.** Робота у цілому і окремі її положення доповідались і обговорювались: на науково-технічній конференції "Забезпечення економічної і безпечної експлуатації газотранспортної системи України" (м Черкаси, 1992 р); на III-й Міжнародній діловій зустрічі "Діагностика 93" (м Москва, 1993 р); на нараді АТ Укргазпром "Використання природного газу, як моторного палива". Київ. 24-27 травня 1995 р.; на науково-технічних конференціях молодих вчених і фахівців УкрНДІгазу (м Харків, 1994 р). на конференції "Неруйнований контроль -96". Київ, 21-24 травня 1996 р; на науково-практичній конференції "Нафта і газ України-96", Харків, 14-16 травня 1996 р.; на науково-технічній конференції "Ресурсозбереження у ринкових відношеннях". Ялта. 5-7 червня 1996 р.; на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу технічного університету нафти і газу (Івано-Франківськ, 1997, 1998, 1999).

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 10 друкованих робіт ( з яких дві одноосібних), в тому числі два патенти України.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, бібліографічного списку літератури з 104 найменувань і додатків. Загальний обсяг роботи 128 стор., в тому числі: 8 таблиць, 18 рисунків, а також додатки на 7 стор. Основна частина роботи містить 105 стор. машинописного тексту.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовані основні положення, які вноситься на захист, визначена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів роботи.

В *розділі 1* роботи проведений аналіз показників надійності компресорних установок АГНКС наступних типів: 4 HR3KN-200 /210-5-249; 2НВ2К-160 /100С; 2BVTN /3; 4ГМ2, 5-1, 2 /10-250; 2ГМ4-1,3/12-200.

Для аналізу надійності компресорних установок використалися наступні показники: напрацювання на відмову; коефіцієнт готовності; коефіцієнт технічного використання. Показники надійності розраховані за період експлуатації 1986-1998 р. За вказаний період відзначається тенденція зросту показників надійності компресорних установок АГНКС, що експлуатуються. Зріст напрацювання на відмову з 66 годин до 1250 годин, коефіцієнту готовності з 0,698 до 0,867, коефіцієнту технічного використання з 0,684 до 0,756. Проте загальний рівень надійності КУ АГНКС остається низьким.

Рівень експлуатаційної надійності знижують такі основні причини: зруйнування, передчасний знос поршневих кілець; пошкодження елементів клапану всмоктування і нагнітання; зруйнування, знос, задири, виробка поршнів і циліндрів; несправність насосу антифризу; знос елементів сальника; задири, передчасне знос і зруйнування гільз.

Відмови були під час всього періоду, що досліджувався. Жодний тип КУ не має високого рівня експлуатаційної надійності. Серед підприємств, що експлуатують КУ одного типу відзначається істотна розбіжність рівня надійності установок, що свідчить про різний рівень експлуатації. Збереження низького рівня ремонтпридатності КУ АГНКС на протязі тривалого періоду експлуатації зумовлено відсутністю кардинального рішення цілого комплексу питань пов'язаних з організацією ремонтних робіт і використанням методів діагностики.

Проаналізовані позитивні і негативні сторони існуючих методів діагностики. Обґрунтовані вимоги до систем технічного обслуговування і діагностування. Показана доцільність проведення ремонтів залежно від фактичного стану КУ АГНКС з урахуванням технічної і економічної доцільності, що можливо тільки на основі діагностування КУ.

Проведений аналіз показує, що для кожної конкретної конструкції КУ і умов експлуатації мають бути визначені свої діагностичні параметри віброконтролю, за допомогою котрих можна визначити його технічний стан. Найбільш перспективним напрямком діагностування КУ АГНКС є аналіз механічних коливань шляхом моніторингу.

Показано, що технологічні можливості вібродіагностики КУ АГНКС в умовах експлуатації у значній мірі залежать від глибини досліджень по виявленню залежностей між конкретними дефектами вузлів КУ і параметрами вібрації.

Обґрунтовано постановку наступних задач дослідження:

- теоретичний аналіз взаємодії конструктивних елементів основних вузлів КУ і факторів, що викликають їх вібрацію;
- теоретичний аналіз змін характеристик вібраційних сигналів КУ при дефектному стані його окремих вузлів;
- експериментального дослідження віброактивності КУ;
- аналіз залежностей між технічним станом окремих вузлів агрегатів і параметрами вібрації;
- вибір найбільш інформативних для контролю і діагностики вібраційних характеристик;
- розробка методик і пристроїв для віброконтролю і вібродіагностики КУ;
- практичне застосування методів і апаратних засобів віброконтролю і вібродіагностики в умовах експлуатації на АГНКС.

В розділі 2 показано конструктивні особливості компресорних установок і результати досліджень динамічних процесів, що визначають їх віброактивність. Дослідження динамічних процесів в компресорних установках здійснювалось з метою визначення спектральних і ударних характеристик силових взаємодій їх конструктивних елементів.

Визначені спектральні і ударні характеристики силової взаємодії необхідні для дослідження причин виникнення вібрації і виявлення зв'язків між силовими взаємодіями і вібраційними параметрами.

Тиск у циліндрі залежно від кута повороту колінчастого валу визначався шляхом розв'язку рівняння виду

$$\frac{dP}{d\alpha} = f(P, \alpha) \quad (1)$$

з початковими умовами  $P=P_1$  при  $\alpha = 0$ ,

де:  $P = P(\alpha)$ - поточне значення тиску у циліндрі;  $\alpha$  - поточне значення кута оберту колінчастого валу; функція  $f(P, \alpha)$  визначена в залежності від радіусу кривошипу, кутової швидкості обертів колінчастого валу, довжини шатуна, площа поперечного перерізу циліндру, тиску газу у ресивері, густини газу, температури газу; коефіцієнту стисливості газу, площею перерізу, довжиною і гідравлічним опором трубопроводу.

Розраховано реакції газу на поршень для чотирьох ступенів компресора, залежно від кута повороту колінчастого валу. Результати розрахунків реакцій газу на поршень використані для дослідження динамічної взаємодії конструктивних елементів КУ і джерел коливань і вібрації. Величини сил, які діють на підшипникові вузли КУ визначені за тиском газів у циліндрах, силами інерції, тертя, корисного опору і особливостями кінематичної схеми компресорної установки. Проекції сил, що діють в поперечному і вертикальному напрямках розкладені в ряди Фур'є. Параметри  $F1k$  і  $F2k$  які характеризують амплітуди гармонік, що складають зусилля у



вертикальному і поперечних напрямках з частотами  $f_k$ , визначені формулами

$$F_{1k} = \sqrt{A_{1k}^2 + B_{1k}^2}, \quad F_{2k} = \sqrt{A_{2k}^2 + B_{2k}^2} \quad (2)$$

де:  $A_{1k}, B_{1k}$  - коефіцієнти Фур'є проєкцій сил, які діють на підшипники, за результатами розрахунків.

Одержані значення швидкості зміни сил залежно від кута повороту колінчастого валу, одержані за допомогою рівняння:

$$\frac{dF_i}{dt} = \frac{d}{dt} \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \quad (3)$$

де:  $F_1, F_2$  - проєкції сил, що діють на вузли КУ.

Виконані розрахунки показують різкі зміни навантаження по величині і напрямку, що характеру схожі з поштовхами і ударами.

Розраховано інтенсивність ударів, що характеризується імпульсами сил

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt, \quad (4)$$

де:  $t_1$  і  $t_2$  - відповідно, початок і кінець ударного імпульсу;

$F(t)$  - значення сили за час  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Розраховані значення імпульсів сил досягають 1000 .. 1200 Н/с.

За результатами розрахунків і аналізу динамічних процесів у компресорних установках визначені основні джерела вібрації: дисбаланс ротора електродвигуна, перекоси у кривошипно-шатунному механізмі, удари у зазорах, тертя у циліндрах і підшипниках. Важливою причиною появи коливань є резонанси фундаментів, трубопроводів і корпусу КУ, турбулентність потоків газу і температурні деформації.

Розроблено план пошуку вібродіагностичних ознак КУ АГНКС. Основним методом для пошуку вібродіагностичних ознак стану обладнання АГНКС доцільно використати метод пасивного експерименту. Суть методу полягає в тому, що спочатку вимірюють всі можливі параметри (спектри, часові реалізації і ін.) вібраційних сигналів на працюючих агрегатах у різних точках. Виявляють всі передбачувані джерела вібрації агрегату, і передбачувані параметри вібросигналів (частоти, фази ін.). Потім вибирають ті параметри, котрі можуть змінюватись при появі дефектів. Ці параметри вимірюють на великій кількості агрегатів, запам'ятовують їх і зберігають у базі даних. В цю ж базу даних заносять і результати всіх вимірювань, що проводяться після ревізії обладнання. В результаті складання регресивних моделей за результатами набраних статистик, виявляються зв'язки між параметрами вібросигналів і технічним станом вузлів. Набирається статистика і робиться оцінка достовірності діагностування при використанні кожної вібродіагностичної ознаки і обираються ознаки, що забезпечують найбільшу точність діагностування. Для компресорних установок АГНКС точки

вимірювання обрані біля підшипникових вузлів, циліндрів, фундаментів.

Визначено частотний діапазон сигналів, що досліджувалися в частотному діапазоні 0-20кГц. Синтезований спектр вібро сигналів містить як низькочастотні складові, так і середньочастотні, пов'язані з ударами і тертям конструктивних елементів.

В розділі 3 описані експериментальні дослідження, для визначення вібраційних характеристик основних вузлів компресорних установок АГНКС і пошуку вібродіагностичних ознак.

Для дослідження вібраційного стану КУ обрані точки на корпусі компресора і на циліндрах кожного ступеня. Сигнали з перетворювача записувались на магнітограф. Характерні спектри вібраційних сигналів приведені на рис.1. Аналіз записаних сигналів здійснювався у лабораторних умовах з використанням комп'ютеру за допомогою розроблених програмних засобів. Апаратура забезпечувала вимірювання і аналіз значень віброшвидкості у частотному діапазоні 0 .. 440 Гц і значення віброприскорення у діапазоні 0 ... 5000Гц. Час заспокоєння апаратури не більш 30 с. Похибка вимірювальних трактів складається з сумарної похибки всіх елементів і не перевищує 10%. Дослідження вібраційного стану КУ АГНКС виконувались протягом чотирьох-шести міжремонтних періодів. Одержані характеристики вібрації більшої кількості компресорних установок АГНКС. В розділі виконано аналіз цих характеристик. Виділені у високочастотному спектрі частотні смуги 600 .. 960, 1100 .. 1300, 1700 .. 1950, 2000 .. 2500, 2500 .. 2800 Гц, що характеризують джерела вібрації КУ АГНКС. Низькочастотна вібрація вузлів КУ 2ГМ4-1, 3 /12-250 представляє собою вібрацію близьку до полігармонічної на частотах 12,5, 24,6, 55, 221, 441, 443, 553, 882, 1107 Гц. В розділі приведені також результати деяких одноразових активних експериментів.

В результаті аналізу вібрації визначені основні джерела вібрації компресорних установок і їх частотні характеристики. Виходячи з аналізу вібраційних характеристик і виявлених джерел вібрації у різних частотних смугах, визначені вібродіагностичні ознаки технічного стану окремих вузлів КУ АГНКС. Для силової компресорної установки 2ГМ4-1, 3 /12-250 визначені вібродіагностичні ознаки:

- рівні вібрації у частотних смугах 2300 .. 2500 і 2500 .. 2800 Гц. Перевищення цими рівнями встановлених значень свідчить про збільшені зазори у сполученнях циліндр-поршень. Залежно від точки реєстрації цього параметра можна судити про величину зазорів у циліндрах першої, другої, третьої або четвертої ступенів стиснення;

- рівень вібрації у частотній у смузі 2000 .. 2800 Гц. Перевищення цим рівнем встановлених значень свідчить про зруйнування компресорних кілець і дефектах робочих поверхонь циліндрів і поршнів. Залежно від точки реєстрації

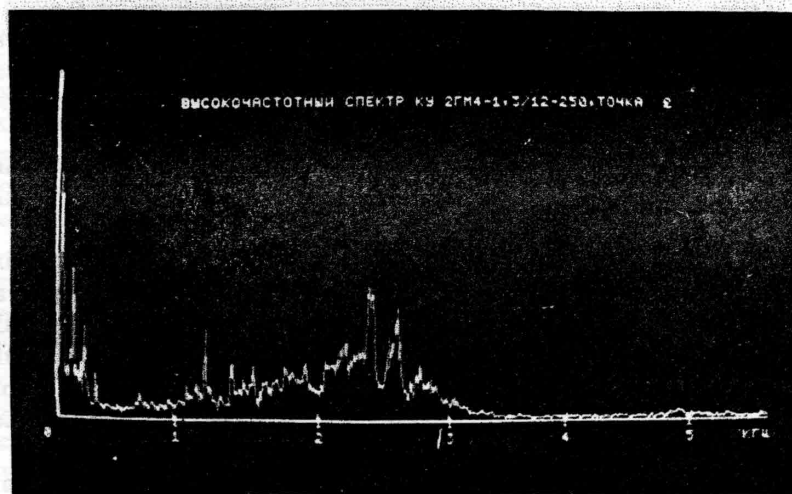
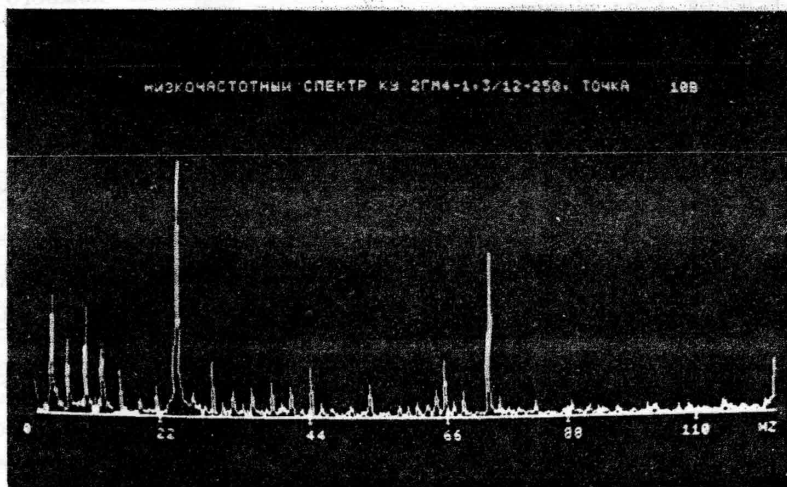


Рис. 1. Спектри вібрації КУ 2ГМ4-1,3 /12-250,  
обчислені за допомогою ПЕОМ.

цього параметра можна судити про стан елементів кожного ступеня стиснення. Слід відзначити, що для діагностування зруйнованих кілець і дефектів поверхні циліндрів можна використати і інші діагностичні ознаки. Зокрема для циліндрів першого ступеня стиснення частотну смугу 1500 .. 2800 Гц, для другого 1500 ... 3000 Гц, для третього 800 .. 2100 Гц, для четвертого 1000 .. 2500 Гц;

- рівень вібрації у смузі 1100 .. 1300 Гц. Перевищення цим рівнем встановлених значень свідчить про дефекти шатунних підшипників, зокрема збільшених зазорах, або зруйнуванні поверхонь тертя;

- рівень вібрації у смузі 1700 .. 1950 Гц. Перевищення цим рівнем встановленого значення свідчить про знос роликів у корінних підшипниках КУ;

- рівень вібрації на частоті 12,5Гц. Перевищення цим рівнем значення 7 мм /с, свідчить про невірноваженість елементів конструкції, зокрема ротора електродвигуна;

- рівні вібрації на частотах 55, 221, 441, 443, 553, 882, 1107Гц, перевищення котрими встановлених значень свідчить про наявність дефектів у роликівих підшипниках.

Приведені вище вібродіагностичні ознаки технічного стану КУ АГНКС визначені на основі аналізу інтенсивності вібрації у різних частотних смугах і точках вимірювань, з використанням динамічних особливостей роботи вузлів КУ. Межі значень вібродіагностичних ознак, що відповідні дефектним і бездефектним станам конструктивних елементів установок, визначені на основі обробки статистики результатів вимірювань і порівняння з результатами ревізій установок

В розділі 4 розроблені основні принципи формування системи вібродіагностування компресорних установок АГНКС. Визначено призначення, склад і функціонування системи вібродіагностування.

На основі результатів досліджень, викладених у попередніх розділах, у перелік дефектів, котрі необхідно і можливо визначати у процесі експлуатації, необхідно включити: знос циліндрів і поршнів, зруйнування ущільнювальних кілець, дисбаланс електродвигуна, задири і прихвати у циліндрах, збільшені зазори і зруйнування у шатунних підшипниках, дефекти корінних підшипників, розцентрування у кривошипно-шатунному механізмі і вихід з ладу клапанів.

Для повного діагностування всіх дефектів необхідно виміряти і проаналізувати більше 100 параметрів. Це можливо за допомогою системи, що пропонується для діагностування. До складу системи входять апаратні і програмні засоби. Описані розроблені апаратні і програмні засоби системи діагностування. Практично, в умовах експлуатації діагностування виконується таким чином: оператор містить діагностичний прилад і по чергово встановлює віброперетворювач у визначені точки (компресорної установки), у яких

прилад автоматично виміряє весь комплекс необхідних вібродіагностичних параметрів, потім аналізує їх і на дисплеї виводить передбачувані дефекти вузлів КУ АГНКС. Розроблена загальна функціональна схема апаратних засобів системи вібродіагностування, блок-схема діагностичного пристрою, програмні засоби системи діагностування.

Основні технічні дані діагностичного приладу: оперативний контроль амплітуди і частоти вібрації циклічних механізмів у діапазоні 1-15000 Гц за допомогою датчиків прискорення, що мають чутливість 0,05-10 мВ/м с<sup>2</sup>; відображення алфавітно-цифрової інформації і графічної інформації у вигляді графіків або гістограм амплітуд коливань, спектрів, графіків; накопичення інформації до 256К і її зберігання; забезпечення програмними засобами попередньої обробки інформації і діалоговим режимом спілкування з оператором; діагностування об'єкту, що досліджується з індикацією відхиленя від норми параметрів, що контролюються; обмін інформацією з ПЕОМ; автономну роботу від внутрішнього джерела живлення. Зовнішній вигляд діагностичного приладу подано на рис. 2.

Програмні засоби системи вібродіагностування забезпечують керування роботою апаратних засобів і створюють робоче середовище для написання прикладних програм. Розроблено прикладні програмні засоби для діагностування компресорних установок 2ГМ4-1,3/12-250. Прикладна програма передбачає наявність таких кроків: вибір точки установки віброперетворювача на КУ АГНКС; введення вібраційного сигналу; обчислення спектра сигналу; обчислення характеристик вібросигналу для програми діагностування і їх запам'ятання; виведення на дисплей інформації про хід виконання програми і результатів діагностування. Наведені типові алгоритми і блок схеми програм діагностування. Описується також спосіб діагностування циліндро-поршневої групи, котрий застосовується для діагностування КУ АГНКС.

В розділі 5 розроблений порядок проведення робіт з діагностувань компресорних установок в умовах експлуатації. Представлений розрахунок від впровадження технології діагностування і сервісного обслуговування для АГНКС. Економічний ефект від технології діагностування і сервісного обслуговування КУ АГНКС досягається за рахунок зміни режиму профілактичних робіт, зниження витрат на ремонт, збільшення міжремонтного періоду.

Визначено перспективи розвитку засобів віброконтролю та вібродіагностування КУ АГНКС.

Основним напрямком розвитку систем віброконтролю є удосконалення систем збору інформації про вібраційний стан агрегатів переносними портативними приладами, що мають електронні блоки для запам'ятання досить великої кількості вимірних параметрів. Доцільно розробка також дешевих і надійних стаціонарних систем збору інформації.

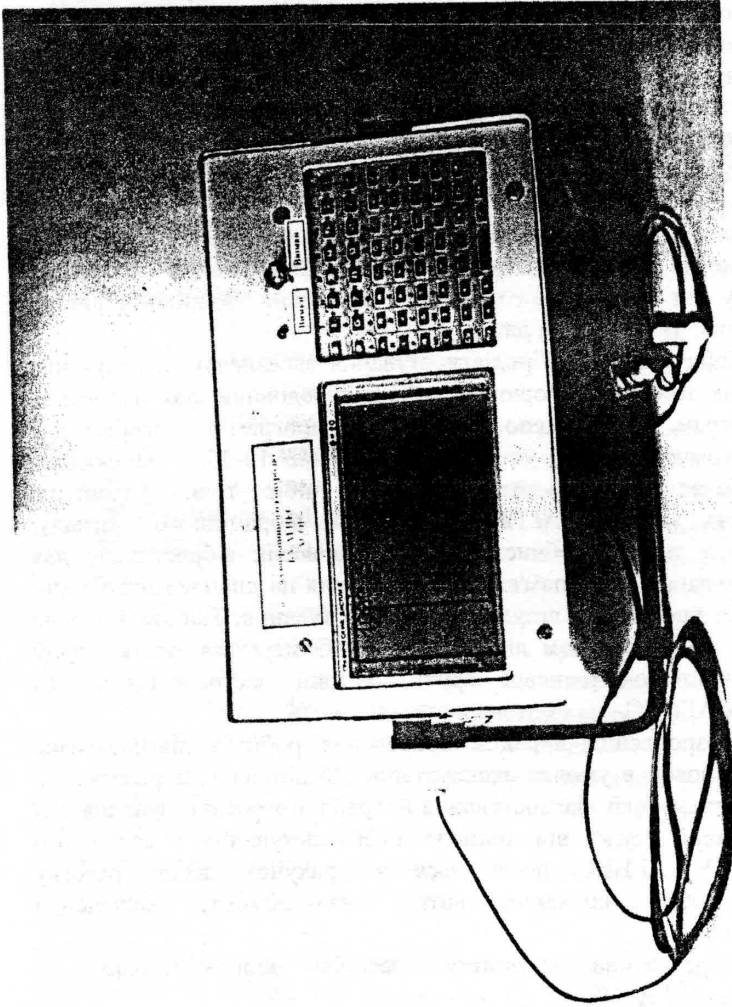


Рис. 2 Пристрій для контролю вібрації компресорних установок АГНС

Ці системи збору дуже зручні і ефективні у експлуатації. Важливим є створення банків даних про вібраційний стан КУ, а також спеціалізованих засобів для рішення таких задач, як: прийняття вимірних даних від системи збору інформації; зберігання вимірних даних у архівах; забезпечення індикації вібраційного стану і автоматизованого документування; прогнозування очікуваних вібраційних характеристик.

Розвиток систем діагностування очікується у двох напрямках.

-перший напрямок містить наукові дослідження, пов'язані з вивченням механічних і фізичних процесів взаємодії конструктивних елементів КУ. Розвиток цього напрямлення пов'язано з вивченням вібраційних рухів елементів КУ внаслідок їх силових і ударних взаємодій. Перспективним є вивчення складних просторових коливань об'єктів і виявлення причин, коливання. Важливим є вивчення ударних контактних взаємодій у зазорах сполучень конструктивних елементів. Доцільні дослідження вібраційних процесів у взаємозв'язку з всіма іншими параметрами роботи агрегатів. Інтерес становить вивчення хвильових механічних процесів у елементах конструкції з урахуванням її пружних і пластичних властивостей. Такі дослідження здійснюються з метою виявлення зв'язків між параметрами коливальних вібраційних процесів (котрі можуть бути вимірними на працюючому агрегаті) і дефектах машин, що знижують її ресурс, економічність, надійність і можуть призвести до аварії. Виявлення таких зв'язків дозволяє ідентифікувати дефекти і ступінь їх розвитку. Актуальними є дослідження по вивченню швидкості розвитку кожного дефекту, що мається у агрегаті, як ізольовано, так і у взаємозв'язку з іншими несправностями агрегату. Такі дослідження дозволяють прогнозувати працездатність машин, оцінювати їх ресурс. Актуальні економічні дослідження з метою пошуку оптимальних технологічних рішень (з економічної точки зору) у кожній конкретній ситуації при обслуговуванні бездефектних агрегатів і агрегатів з ідентифікованими дефектами;

-другий напрямок пов'язаний з розробкою технологічних і технічних методів і засобів, що забезпечують швидко автоматизовану ідентифікацію дефектів і прийняття оптимального рішення по обсягу і термінах обслуговування агрегатів. Розвиток цього напрямку пов'язаний із створенням технічних засобів, що забезпечують збір параметрів і інформації про вібраційні і інші дані, які необхідні для діагностування. Формування баз достовірних даних, як повних, так і локальних з спеціалізованим програмним забезпеченням, що дозволяють легко вилучати необхідну інформацію у зручному вигляді. Актуальними є роботи по створенню програмного забезпечення, що дозволяє автоматично визначати дефекти вузлів агрегатів, планувати ремонти і технічні обслуговування; прогнозувати аварійні ситуації; визначати заходи по запобіганню аварій; здійснювати інформаційне забезпечення діагностування шляхом передачі даних;

оптимізувати використання ресурсів у ремонтно-технічній, інформаційній і експертно-аналітичних службах.

Рішення зазначених задач забезпечить значну економію ресурсів.

Однією з найбільш важливих функцій діагностичних інформаційних систем є надавання необхідних даних для оптимізації програм ремонтно-технічного обслуговування агрегатів, що дозволить перейти до впровадження попереджувальних ремонтів не за планом, а по мірі необхідності.

В таблиці 1 вказані загальні перспективи розвитку окремих елементів комплексу ремонтно-технічної служби.

Інформаційні системи діагностування КУ АГНКС, дозволяють збільшити кількість способів ремонтно-технічного забезпечення, розширити використання телеметричних електронних приладів, що збирають, впорядковують інформацію.

Впровадження систем збору і обробки даних буде сприяти зниженню експлуатаційних видатків, підвищенню надійності роботи обладнання і переходу до попереджувального ремонту по мірі необхідності.

Таблиця 1

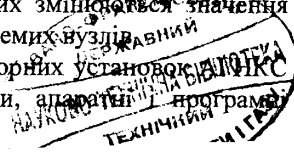
Розвиток ремонтних служб КУ АГНКС

Елементи служби	1985 - 1999р.	2000 – 2010р.	Служба у майбутньому
1	2	3	4
Цілодобове чергування на АГНКС.	На кожній АГНКС	Автоматизація на більшості АГНКС	Завершення автоматизації всіх АГНКС
Планово-попереджувальна система обслуговування	Виконання ремонтів згідно за планом	Зменшення вимог до регламентаційних ремонтних робіт. Впровадження ремонтів по необхідності	Виконання ремонтів по необхідності
Використання електронних КВП.	Практично відсутні.	Впровадження окремих типів електронних КВП	Використання тільки електронних КВП.
Використання телеметричних систем збору даних.	Відсутні	Впровадження окремих телеметричних систем збору даних.	Широке впровадження телеметричних систем збору даних.
Використання аналітичних програм.	Відсутні	Початок впровадження аналітичних систем і програм	Широке впровадження аналітичних систем і програм



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті проведення теоретичних та практичних досліджень вирішено важливу наукову та практичну задачу – підвищення надійності експлуатації компресорних установок АГНКС за рахунок переходу на прогресивну технологію обслуговування за реальним станом, ідентифікованим на основі застосування вібродіагностичних систем.
2. Статистичний аналіз показників надійності для компресорних установок АГНКС, що експлуатуються на території України за період 1986-1996 рр. показав, що для різних типів КУ напрацювання на відмову лежить в межах 60-6000 годин, коефіцієнт готовності – в межах 0.242 – 1.0, коефіцієнт технічного використання – в межах 0.224-1.0. Відмічається істотна розбіжність рівня надійності однотипних установок, які експлуатуються різними підприємствами, що свідчать про різний рівень обслуговування. Підвищення рівня надійності експлуатації вимагає кардинального рішення проблеми технічного обслуговування за реальним станом.
3. На основі теоретичних досліджень динаміки роботи компресорних установок розв'язана важлива задача оцінки віброактивності їх основних вузлів. Встановлено, що віброактивність залежить від конструкції компресора і змінюється в межах, які визначені для конкретних точок і частотних смуг. Визначені параметри основних джерел вібрації, що пов'язані з динамічними взаємодіями основних конструктивних елементів компресорних установок, які в комплексі з одержаними теоретичними результатами, дозволяють визначити напрямок експериментальних досліджень з метою пошуку вібродіагностичних ознак окремих типів агрегатів.
4. Вперше проведені експериментальні дослідження вібраційних характеристик КУ АГНКС методом пасивного експерименту. Одержана статистика вібраційних параметрів агрегатів, що експлуатуються. Одночасно на них проведені ревізії, що дало змогу поставити у відповідність параметрам вібрації компресорних установок параметри технічного стану окремих вузлів.
5. Проведено аналіз даних, що виявлені в результаті теоретичних і експериментальних досліджень. Визначені залежності між вібраційними параметрами і технічним станом основних вузлів КУ АГНКС. Визначена множина точок і частотних смуг вібрації, в яких змінюється значення вібраційних параметрів при дефектному стані окремих вузлів.
6. Розроблена методика діагностування компресорних установок АГНКС 2ГМ4-1.3/12-250. Створено функціональні схеми, алгоритми програм.



засоби для реалізації розроблених методик вібродіагностування КУ АГНКС.

7. Результати впровадження методів і пристроїв діагностики в умовах експлуатації на АГНКС показали високу ефективність і надійність системи, що дозволило за рахунок підвищення надійності роботи компресорних установок одержати річний економічний ефект в розмірі 520 тис.грн.

Основний зміст дисертації опубліковано в працях:

1. Сапрыкин С.А., Бойко М.В., Козак В.Р., Технология вибродиагностирования компрессорных установок автомобильных газонаполняющих компрессорных станций отечественного и зарубежного производства. //Матеріали науково-практичної конференції "Нафта і газ України-96". Том 3. -Харків УНГА. -1996. -С. 153-154

2. Бойко М.В., Саприкін С.А., Козак В.Р., Гарагуль А.А. Спосіб діагностування газовпускних клапанів і силових циліндрів. Заявлення 96010370.-Опубл. Промислова власність. Офіційний бюлетень.-1997.-№ 4.-с.275.

3. Козак В.Р. Техніка і технологія діагностування основних вузлів компресорних установок і допоміжного устаткування //Нафтова та газова промисловість. - 1997. - № 2. – С. 43-44.

4. Козак В.Р. Розробка методів і засобів для вибродиагностування компресорних установок АГНКС. //Нафтова та газова промисловість. - 1997.- № 3.-С. 39-42.

5. Грудз В.Я. , Козак В.Р. Визначення об'єму запасних частин обладнання АГНКС. //Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу ІФІНГ.-Івано-Франківськ,-1997, -С.50.

6. Грудз В.Я, Козак В.Р. Планування профілактичного обслуговування АГНКС в умовах централізованої системи. //Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу ІФІНГ.-Івано-Франківськ,-1997.-С.50.

7. Пат. 25501 А України від 30.10.98р. Пристрій для контролю вібрацій. Саприкін С.А., Бойко М.В., Поліщук О.Ф., Личкатий Є.В. Козак В.Р.

8. Козак В.Р., Михалків В.Б. Прогнозування режимів роботи АГНКС на основі статистичної ідентифікації . //Науково-практична конференція "Шляхи підвищення якості підготовки спеціалістів для будівництва та експлуатації систем трубопровідного транспорту. - Івано-Франківськ.-1998. –С. 48-49.

9. Кудінов П.П., Слесар Я.М., Слесар В.Р., Козак.В.Р. Засоби запобігання утворенню відкладів у внутрішній порожнині систем охолодження АГНКС. //Нафтова і газова промисловість.-1998.-№ 1.-С.38-39.

10. Сорокін М.К., Шевченко Т.О., Єна В.М., Козак В.Р., Павленко К.С. Про роботу АГНКС на підприємствах АТ "Укргазпром"//Нафтова і газова промисловість.-1998.-№ 4.-С.47-49.

## АНОТАЦІЯ

Козак В.Р. Розробка і впровадження вібродіагностичних систем для компресорних установок газонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС). – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.13 - Нафтогазопроводи, бази та сховища. Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2000.

Дисертацію присвячено питанням розробки і створення системи вібродіагностування для компресорних установок АГНКС. Приведені результати теоретичних і експериментальних досліджень, функціональні характеристики розробленої вібродіагностичної апаратури. Визначені параметри основних джерел вібрації, що пов'язані з динамічними взаємодіями основних конструктивних елементів компресорних установок. Визначені залежності між вібраційними параметрами і технічним станом основних вузлів і деталей компресорних установок АГНКС. Розроблена система діагностування компресорних установок АГНКС. Річний економічний ефект від впровадження системи діагностування на АГНКС в реальних умовах експлуатації складає 520 тис грн.

Ключові слова: діагностика, вібродіагностика, компресорна установка.

## АННОТАЦИЯ

Козак В.Р. Разработка и внедрение вибродиагностических систем для компресорных установок газонаполнительных компресорных станций (АГНКС). – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.15.13 – Нефтегазопроводы, базы и хранилища. Ивано-Франковский государственный технический университет нефти и газа. Ивано-Франковск, 2000.

Диссертация посвящена вопросам разработки и создания системы вибродиагностирования для компресорных установок АГНКС. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, функциональные характеристики разработанной вибродиагностической аппаратуры. Определены параметры основных источников вибрации, которые связаны с динамическими взаимодействиями основных конструктивных элементов компресорных установок. Определены зависимости между вибрационными параметрами и техническим состоянием основных узлов и деталей компресорных установок

АГНКС. Разработанна система диагностирования компрессорных установок АГНКС. Годовой экономический эффект от внедрения системы диагностирования на АГНКС в реальных условиях эксплуатации составляет 520 тыс. грн.

Ключевые слова: диагностика, вибродиагностика, компрессорная установка.

## THE SUMMARY

Kozak V.R. Development and introduction vibradiagnostik of systems for compressors CNG of compressor stations. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.15.13 -- Petroleum and gas pipe, base and storehouse. The Ivano-Frankovsk state technical university of petroleum and gas. Ivano-Frankovsk, 2000.

The dissertation is devoted to questions of development and creation of system vibradiagnosings for compressors CNG of compressor stations. The results theoretical and experimental researches, basic functional characteristics developed vibradiagnostik of the equipment are given. On the basis of theoretical researches of dynamics of work of compressor installations the important task of an estimation vibraaktiviti of its basic units and details is decided, is revealed, that vibraaktiviti depends on a design of the compressor and changes in limits determined for concrete points and frequency of strips. The parameters of the basic sources of vibration are certain which are connected to dynamic interactions of the basic constructive elements of compressor installations. Experimental researches of the vibrating characteristics of units and details of compressors CNG of compressor stations by a method of passive experiment, for the first time are carried out.

The dependences between vibrating parameters and technical condition of the basic units and details of compressors CNG of compressor stations are certain.

The developed system of diagnosing of compressors CNG of compressor stations allows during diagnosing to make the analysis more than 200 vibracharacteristic in 16 places of compressors. The process of diagnosing lasts 7 mines. The results of introduction of system of diagnosing in real conditions of operation on CNG of compressor stations have confirmed high efficiency and reliability of system. Annual economic benefit of introduction of system of diagnosing - 520 thousand grn.

Key words: diagnostics, vibradiagnostik, compressor.