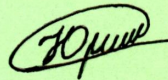


681.518. + 621.67 (043)

П 16

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



Паньків Юрій Володимирович

681.518 + 621.67 (043)

УДК 621.37:681.518.5

П 16

**РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ТА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО
СТАНУ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ СИСТЕМ ПІДТРИМАННЯ
ПЛАСТОВИХ ТИСКІВ НА НАФТОВИХ РОДОВИЩАХ**

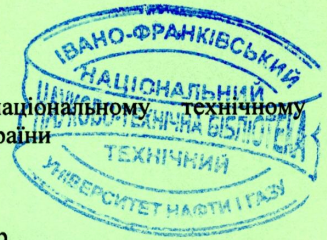
Спеціальність 05.11.13 – Прилади і методи контролю
та визначення складу речовин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2010

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Заміховський Леонід Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Копей Богдан Володимирович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри морських нафтогазових споруд

доктор технічних наук, професор
Поджаренко Володимир Олександрович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри метрології та промислової автоматики

Захист в спеціалізованому технічному університеті нафти і газу вул. Карпатська 13 дисертації в Інституті нафтогазового факультету вул. Карпатська 13

Авторецензії

Вчений спеціаліст

на засіданні спеціалізованого технічного університету нафти і газу Івано-Франківськ,

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Івано-Франківськ,

з чук



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сьогодні значна частина нафтових родовищ України, які тривалий час експлуатуються, є виснаженими і вимагають застосування різних методів інтенсифікації процесу видобутку нафти. До найбільш поширених належить метод підтримання пластового тиску (ППТ) шляхом закачування у пласт води за допомогою відцентрових насосних агрегатів (ВНА) різних типів, частка яких становить близько 90% всього парку насосів нафтопромислів. Деталі і вузли ВНА в процесі експлуатації піддаються дії перекачуваного середовища з високою корозійною активністю – мінералізованих водних розчинів, сірководню, вуглекислого газу та інших корозійно-активних компонентів, що спричиняють розвиток їх дефектів і призводять як до зниження ефективності роботи ВНА, так і до виникнення аварійних ситуацій.

Від безаварійної роботи ВНА значною мірою залежить інтенсивність видобування нафти, у зв'язку з чим проблемі підвищення їх надійності і ефективності експлуатації приділяється значна увага. Крім того, сьогодні відсутні загальноприйняті методи діагностування ВНА системи ППТ, які дозволяють отримувати достовірну інформацію про їх технічний стан і проводити ремонт за фактичною потребою. У зв'язку з цим виникають численні відмови та аварії, а збитки, що пов'язані з ремонтом ВНА, не обмежуються лише вартістю запасних частин – необхідно враховувати також збитки, зумовлені їх простоями у зв'язку з ремонтом. В результаті простою системи ППТ знижується загальна ефективність роботи всієї системи нафтовидобування. Цілком очевидно, що розроблення нових методів і засобів для оперативного контролю технічного стану ВНА, використання яких дозволить підвищити експлуатаційні показники роботи ВНА і дасть змогу значно знизити витрати на їх ремонт і обслуговування, є важливою науковою та народногосподарською задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертації є частиною планових науково-дослідних програм із розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах науково-дослідної роботи «Розроблення методики діагностування установок нафтогазової промисловості», номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ №0108U001367, де автор був безпосереднім виконавцем розділу розробки методики діагностування відцентрових насосних агрегатів систем підтримання пластового тиску за результатами контролю рівня їх вібрації.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є забезпечення надійності та ефективності експлуатації ВНА системи ППТ за рахунок оперативної і вірогідної інформації про його фактичний технічний стан, який визначається розробленими методом і системою контролю.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– розглянути конструктивні особливості ВНА з точки зору об'єкта контролю

an 2086 - an 2086

і визначити причини та фактори, що зумовлюють виникнення дефектів і відмов його вузлів і елементів;

– провести аналітичні дослідження методу контролю технічного стану ВНА з використанням основних положень віброакустичної діагностики машин;

– розробити методичне, технічне та програмне забезпечення експериментальних досліджень методу контролю стану ВНА;

– розробити метод контролю технічного стану ВНА та апаратні і програмні засоби для його реалізації;

– провести промислову апробацію розроблених методу та системи контролю технічного стану ВНА на нафтопромислах НГВУ «Долинанатогаз».

Об'єктом досліджень є процес зміни технічного стану відцентрового насосного агрегату, викликаний розвитком дефектів його елементів і вузлів, що призводить до зниження ефективності роботи ВНА та виникнення аварійних ситуацій.

Предмет дослідження – віброакустичні методи і технічні засоби контролю технічного стану ВНА систем ППТ.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач використовувалися чисельні методи математичного аналізу, методи технічної діагностики, основні положення віброакустичної діагностики машин, методи обробки сигналів, методи спектрального-кореляційного аналізу. При розробці технічного забезпечення використовувалися методи системо- і схемотехніки, а при розробці програмного забезпечення – методи об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше створено логічну діагностичну модель ВНА, яка дає змогу відстежити напрямок розвитку дефектів, класифікувати їх та визначити зв'язок з відмовами.

2. Побудовано діагностичну модель ВНА у вигляді функції передачі, яка дозволяє вчасно виявляти приховані дефекти ущільнень, що призводять до суттєвого зниження ККД та не визначаються віброакустичними методами, і тим самим підвищувати вірогідність контролю стану ВНА.

3. Вперше досліджено закономірності зміни складових частотних спектрів вібраційних процесів, що виникають у ВНА типу ЦНС-180-1900 і зумовлені зміною їх технічного стану, та виділено найбільш інформативні спектральні складові, що можуть бути використані за діагностичні ознаки стану ВНА.

4. Вперше обґрунтовано і досліджено діагностичну ознаку технічного стану ВНА – суму добутків вагових коефіцієнтів на значення амплітуди відповідних гармонік частотного спектра, зміна якої в часі характеризує зміну технічного стану ВНА. Її покладено в основу методу контролю технічного стану ВНА.

5. Отримав подальший розвиток метод аналізу частотно-часових розподілів енергії вібросигналу стосовно контролю технічного стану ВНА, що, у сукупності з класичними методами діагностування за спектральними характеристиками його

вібросигналу, дозволяє отримати оперативну і вірогідну інформацію про технічний стан ВНА.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні:

- алгоритму контролю технічного стану ВНА за результатами контролю його вібраційного стану, використання якого дозволяє прогнозувати момент виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з відмовою вузлів та елементів ВНА;

- системи для оперативного контролю технічного стану ВНА у складі ПЕОМ та портативного приладу, розробленого з використанням сучасної елементної бази, використання якої дозволяє отримати вірогідну та оперативну інформацію про фактичний стан ВНА та проводити ремонт за потребою;

- комплексу прикладного програмного забезпечення, створеного із використанням сучасних пакетів програмних продуктів для подальшої детальної обробки і збереження результатів запису вібросигналів та ведення інформаційної бази даних, яке надалі може бути покладене в основу експертної системи.

Розроблений метод і система контролю технічного стану пройшли промислово апробацію на нафтових промислах ВАТ “Укрнафта” НГВУ “Долинанaftогаз” (акт від 12.06.09 р.) і рекомендовані до впровадження.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджено в навчальному процесі – в робочих програмах навчальних дисциплін “Об’єкти і процеси управління нафтогазового комплексу”, “Методи і засоби діагностування об’єктів нафтогазового комплексу” (акт від 29.05.09 р.), які читаються студентам спеціальності 7.091401 – “Системи управління та автоматики”.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно [1,2,3,11]. У співавторстві розроблено програмне забезпечення автоматизованої системи дистанційного моніторингу параметрів вібрації ВНА [4], побудовано діагностичну модель ВНА [5], запропоновано стратегію вибору контрольних точок на корпусі ВНА [6], здійснено вибір і обґрунтування діагностичної ознаки технічного стану ВНА системи ППТ [7], розроблено логічну діагностичну модель ВНА типу ЦНС-180-1900 [8], обґрунтовано положення методики діагностичного обстеження вібростану ВНА [9], обґрунтовано шляхи підвищення достовірності результатів діагностування ВНА віброакустичними методами [10].

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на XX, XXII, XXIII та XXV міжнародних міжвузівських школах-семінарах “Методи та засоби технічної діагностики” (м. Івано-Франківськ 2003, 2005 р. та м. Йошкар-Ола (Росія), 2006, 2008 р.); XXIV(I) та XXVI(II) міжнародних міжвузівських школах-семінарах “Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі” (м. Івано-Франківськ, 2007, 2009 р.); 3-й міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційна техніка та електромеханіка» (ІТЕМ-2005, м. Луганськ, 2005 р.); 4-й міжнародній науково-практичній конференції “Комп’ютерні системи в автоматизації виробничих процесів

МНПК КСАВП-2005” (м. Хмельницький, 2005 р.); 8-й міжнародній конференції “The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics CADSM-2005” (м. Славське, 2005); 4-й науково-технічній конференції “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики промислового обладнання” (м. Івано-Франківськ, 2005 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “ІФНТУНГ–40” “Ресурсозберігаючі технології в нафтогазовій енергетиці” (м. Івано-Франківськ, 2007 р.), науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ІФНТУНГ (2004-2009 рр.); наукових семінарах кафедри комп’ютерних технологій в системах управління та автоматики (2005-2009 рр.);

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 11 робіт, з яких 7 – у виданнях, включених ВАК до переліку фахових видань, 2 – у збірниках наукових праць. Одноосібно опубліковано 4 статті.

Структура та об’єм роботи. Дисертація складається з вступу, п’яти розділів, висновків, викладених на 165 сторінках тексту, 64 рисунків, 13 таблиць, списку використаних джерел, який містить 143 найменувань, та 11 додатків на 21 сторінках

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, показано зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету і завдання дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі аналізується сучасний стан проблеми контролю технічного стану ВНА, розглянуто конструктивні особливості ВНА системи ППТ з точки зору контролю їх технічного стану, а також причини і фактори, що зумовлюють виникнення дефектів та відмов вузлів і елементів ВНА. Проведено аналіз методів і технічних засобів діагностування ВНА в процесі експлуатації, який показав, що методи параметричної діагностики, які використовують за діагностичні ознаки параметри робочих процесів ВНА – потужність, подачу, напір, ККД, температуру, тощо, не набули промислового впровадження в зв’язку з їх складністю та необхідністю вимірювання і врахування дії багатьох робочих та супутніх параметрів. Найбільш перспективними є методи віброакустичної діагностики, що базуються на використанні діагностичної інформації, яка міститься в коливних процесах, що генеруються вузлами і елементами машин та механізмів в процесі їх експлуатації. Однак досліджень, пов’язаних з встановленням закономірностей зміни характеристик коливних процесів, обумовлених зміною технічного стану ВНА, не проводилося, що вказує на відсутність методів їх вібродіагностування.

На основі проведеного аналізу сучасного стану проблеми сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі проведено аналіз ВНА з точки зору об’єкта вібродіагностики, який дозволив згодом розробити його діагностичну модель на базі причинно-наслідкової логічної діагностичної моделі. На основі складеної

функціональної схеми ВНА типу ЦНС-180-1900 було розроблено його логічну модель (рис. 1). Для цього кожен блок ВНА замінювався спрощеним блоком з відповідними зв'язками.

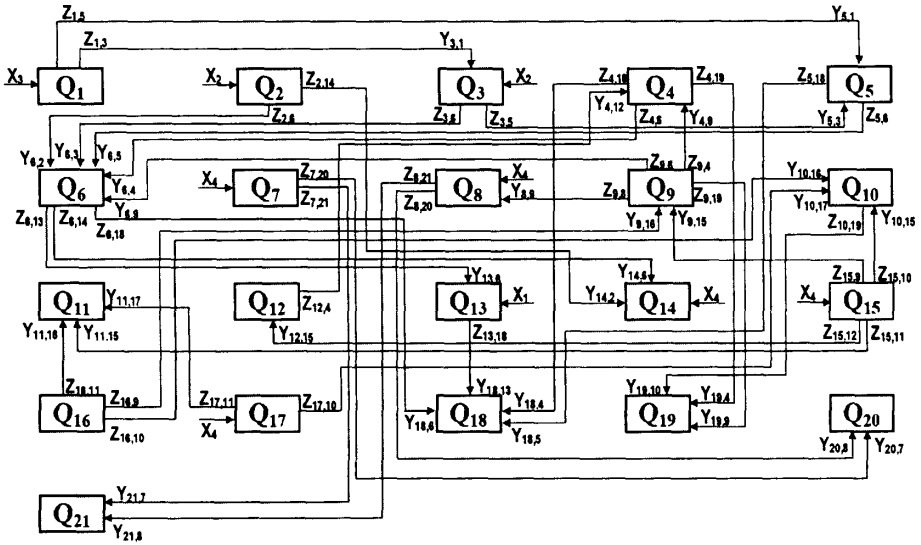


Рис. 1. Логічна діагностична модель насосного агрегату типу ЦНС-180-1900

Логічна діагностична модель дає наочне уявлення про найбільш схильні до виникнення дефектів елементи та вузли ВНА, а також зв'язки структурних і діагностичних параметрів, що в кінцевому результаті дозволить вибрати діагностичні ознаки і покласти їх в основу методу контролю стану ВНА, який розробляється. В загальному випадку функціональній схемі відповідає підмножина блоків логічної моделі із множини $Q_1 \dots Q_n$. Для даного випадку $n=21$, а саме: Q_1 – електромагнітні дефекти двигуна; Q_2 – збільшення зазора в підшипниках ВНА; Q_3 – збільшення зазора в підшипниках електродвигуна (ЕД); Q_4 – викривлення вала ВНА; Q_5 – викривлення вала ЕД; Q_6 – заклинювання (забоїни, биття, нерівномірний знос, підвищені зазори між зубами) та знос муфти; Q_7 – знос кінцевих сальникових ущільнень; Q_8 – знос міжступінчастих ущільнень; Q_9 – викривлення форми робочих коліс; Q_{10} – знос робочих коліс; Q_{11} – знос корпусу ВНА та направляючих апаратів; Q_{12} – знос вала; Q_{13} – ослаблення кріплень фундаменту; Q_{14} – зачіпання робочими колесами направляючих апаратів; Q_{15} – абразивний знос; Q_{16} – корозійний знос; Q_{17} – кавітаційне руйнування; Q_{18} – порушення співвісності валів насоса і двигуна; Q_{19} – дисбаланс; Q_{20} – механічні втрати; Q_{21} – гідравлічні втрати. На вузли та елементи ВНА додатково діють наступні сили: X_1 – сила реакції опор фундаменту; X_2 – сила

тертя мастила; X_3 – сили електромагнітної взаємодії; X_4 – сила опору рідини.

Електромагнітні дефекти електродвигуна Q_1 , що викликають надлишкові навантаження на його ротор, призводять до збільшення зазора в підшипниках ВНА Q_3 (зв'язок вихід $Z_{1,3}$ – вхід $Y_{3,1}$) та викривлення вала ЕД Q_5 (зв'язок вихід $Z_{1,5}$ – вхід $Y_{5,1}$). До наслідку Q_5 призводить також зв'язок від Q_3 (зв'язок вихід $Z_{3,5}$ – вхід $Y_{5,3}$) – через збільшення зазора ЕД може деформуватися його вал. Досить поширений дефект Q_6 – заклинювання та зношення муфти – може бути зумовлений цілим рядом причин: внаслідок збільшення зазорів у підшипниках ВНА Q_2 (зв'язок вихід $Z_{2,6}$ – вхід $Y_{6,2}$) та у підшипниках ЕД Q_3 (зв'язок вихід $Z_{3,6}$ – вхід $Y_{6,3}$). Спричинює зношення муфти також викривлення вала ВНА Q_4 (через зв'язок вихід $Z_{4,6}$ – вхід $Y_{6,4}$) та викривлення вала ЕД Q_5 (зв'язок вихід $Z_{5,6}$ – вхід $Y_{6,5}$). Викривлення форми робочих коліс Q_9 також у деяких випадках може спричинити дефекти муфти Q_6 (зв'язок вихід $Z_{9,6}$ – вхід $Y_{6,9}$) та викривлення вала ВНА Q_4 (зв'язок вихід $Z_{9,4}$ – вхід $Y_{4,9}$). Дефект муфти Q_6 може спричинити ослаблення кріплення ВНА до фундаменту (зв'язок вихід $Z_{6,13}$ – вхід $Y_{13,6}$), так само як і зачіпання робочими колесами направляючих апаратів Q_{14} (зв'язок вихід $Z_{6,14}$ – вхід $Y_{14,6}$). До дефекту Q_{14} також може призвести збільшення зазора в підшипниках ВНА Q_2 (зв'язок вихід $Z_{2,14}$ – вхід $Y_{14,2}$).

Ще одною поширеною парою дефектів є зношення кільцевих сальникових ушільнень Q_7 та міжступінчастих ушільнень, які призводять до появи механічних втрат Q_{20} (зв'язки вихід $Z_{7,20}$ – вхід $Y_{20,7}$, вихід $Z_{8,20}$ – вхід $Y_{20,8}$) та гідравлічних втрат Q_3 (зв'язки вихід $Z_{8,21}$ – вхід $Y_{21,8}$, вихід $Z_{7,21}$ – вхід $Y_{21,7}$) в насосі.

Вагомими причинами, що викликають поступові відмови ВНА, є абразивне зношення Q_{15} та корозійне зношення Q_{16} , які у парі призводять до викривлення форми робочих коліс Q_9 (зв'язки вихід $Z_{15,9}$ – вхід $Y_{9,15}$, вихід $Z_{16,9}$ – вхід $Y_{9,16}$), зношення робочих коліс Q_{10} (зв'язки вихід $Z_{15,10}$ – вхід $Y_{10,15}$, вихід $Z_{16,10}$ – вхід $Y_{10,16}$) та зношення корпусу ВНА Q_{11} (зв'язки вихід $Z_{15,11}$ – вхід $Y_{11,15}$, вихід $Z_{16,11}$ – вхід $Y_{11,16}$). Зношення вала Q_{12} викликається в основному тільки абразивним зношенням Q_{15} (зв'язок вихід $Z_{15,12}$ – вхід $Y_{12,15}$), оскільки вал виготовляється з неіржавіючої сталі.

Зношення робочих коліс Q_{10} призводить до дуже поширеного дефекту – дисбалансу ВНА Q_9 (зв'язок вихід $Z_{10,19}$ – вхід $Y_{19,10}$). Виникненню дисбалансу також сприяють порушення форми робочих коліс Q_9 (зв'язок вихід $Z_{9,19}$ – вхід $Y_{19,9}$) та викривлення вала ВНА Q_4 (зв'язок вихід $Z_{4,19}$ – вхід $Y_{19,4}$). Спричинює викривлення вала Q_4 його зношення Q_{12} під дією ряду інших факторів (зв'язок вихід

$Z_{12,4}$ – вхід $Y_{4,12}$).

Викривлення (порушення) форми робочих коліс Q_9 , в свою чергу спричиняє знос міжступінчастих ущільнень Q_8 (зв'язок вихід $Z_{9,8}$ – вхід $Y_{8,9}$). Ще один критичний дефект, що призводить до швидкої відмови ВНА, – порушення співвісності валів насоса і двигуна Q_{18} .

Зумовлюється він чотирма основними причинами: заклинюванням та зносом муфти Q_6 (зв'язок вихід $Z_{6,18}$ – вхід $Y_{18,6}$), викривленням вала ВНА Q_4 (зв'язок вихід $Z_{4,18}$ – вхід $Y_{18,4}$) та вала електродвигуна Q_5 (зв'язок вихід $Z_{5,18}$ – вхід $Y_{18,5}$).

Суттєво впливає також на неспіввісність валів насоса та двигуна проблема поступового ослаблення кріплень фундаменту Q_{13} (зв'язок вихід $Z_{13,18}$ – вхід $Y_{18,13}$).

Проблема кавітаційного руйнування Q_{17} також спричинює два серйозних дефекти: знос робочих коліс Q_{10} (зв'язок вихід $Z_{17,10}$ – вхід $Y_{10,17}$) та знос корпуса ВНА та направляючих апаратів Q_{11} (зв'язок вихід $Z_{17,11}$ – вхід $Y_{11,17}$).

Логічна діагностична модель ВНА дала змогу встановити і класифікувати розвиток дефектів, визначити напрямок їх розвитку та причинно-наслідковий зв'язок з іншими дефектами. Як видно з рис. 1, найслабшою ланкою ВНА є зубчата муфта, а також зв'язки структурних і діагностичних параметрів, що в кінцевому результаті дозволить вибрати діагностичні ознаки і покласти їх в основу методу контролю стану ВНА, який розробляється.

Розглянуто проблему визначення функції передачі ЦНС-180-1900 з метою оцінки зміни його ККД в процесі роботи. Це обумовлено тим, що такі дефекти, як чистота поверхонь робочих коліс, направляючих апаратів та стан міжступінчастих і торцевих ущільнень ВНА, що визначають зниження ККД агрегату та суттєво позначаються на ефективності його роботи, не визначаються методами вібродіагностики. ККД насоса буде значно меншим навіть при наявності незначних дефектів ущільнень, а в кінці міжремонтного періоду втрата потужності може доходити до 50%. Зниження ККД у 90% насосів відбувається в зв'язку з наявністю внутрішніх втрат.

Використання методів ідентифікації за кривою розгону дало змогу отримати функцію передачі ВНА для трьох випадків у вигляді $W(s) = K \cdot \frac{1 + b_1 \cdot s}{1 + a_1 \cdot s + a_2 \cdot s^2} \cdot e^{-\tau s}$:

$$\text{бездефектний ВНА: } W_1(s) = K \cdot \frac{1 - 3.539 \cdot s}{1 + 27.794 \cdot s + 245.314 \cdot s^2} \cdot e^{-\tau s}, \tau = 10 \text{ с} \quad (1)$$

ВНА з 10% величиною зносу робочих коліс і направляючих апаратів

$$W_2(s) = K \cdot \frac{1 - 7.126 \cdot s}{1 + 31.318 \cdot s + 319.661 \cdot s^2} \cdot e^{-\tau s} \quad (2)$$

ВНА з 25% величиною зносу робочих коліс і направляючих апаратів

$$W_3(s) = K \cdot \frac{1 - 8.148 \cdot s}{1 + 42.216 \cdot s + 579.765 \cdot s^2} \cdot e^{-\tau s} \quad (3)$$

Для визначених функцій передачі отримано відповідні криві розгону шляхом проведення зворотного перетворення Лапласа. Форма цих залежностей наближається до експериментальних кривих розгону, тобто можна зробити висновок, що отримана модель ВНА у вигляді функції передачі є адекватною. Аналіз зміни коефіцієнтів функції передачі дає змогу оцінити величину зміни ККД, до зменшення якого призводить зношення робочих коліс та направляючих апаратів. В другому розділі також розглянуто питання оцінки наявності початкових ступенів розвитку дефектів робочих коліс та ущільнень насоса за спектральними характеристиками його віброцигналів, запропоновано використовувати для аналізу сучасні частотно-часові перетворення (ЧЧП), зокрема ЧЧП Вігнера-Віллія.

У *третьому розділі* розроблено методичне, технічне і програмне забезпечення методу контролю стану ВНА.

З метою виявлення закономірностей зміни складових частотного спектра вібраційних процесів при виникненні та розвитку наведених вище дефектів проводились експерименти на нафтових родовищах Надвірнянського (Битків), Долинського (Північна Долина) та Бориславського (Старий Самбір) НГВУ ВАТ “Укрнафта”. За об’єкт досліджень, в основному, були вибрані найбільш поширені на нафтопромислах Західної України ВНА типу ЦНС-180-1900 потужністю від 1230 до 1600 кВт з приводом від синхронного електродвигуна типу СТД з частотою обертання 50 с^{-1} . З метою підвищення достовірності результатів досліджень період напрацювання дослідних ВНА вибирали від 1-2 до 7-8 років експлуатації, що відповідало різному їх технічному стану. Період напрацювання після останнього ремонту становив від 10 до 160 діб. Протягом 2003-2006 років регулярно (раз на місяць) проводився контроль вібростану 9 дослідних ВНА, для чого було здійснено понад 150 вимірювань рівня віброшвидкості коливань у контрольних точках: по 2 – на корпусах підшипників насоса і привідного електродвигуна та 1 – на зубчатій з’єднувальній муфті, які були визначені на основі кореляційного аналізу експериментальних даних. При цьому застосовувалась розроблена портативна інформаційно-вимірювальна система. Сигнал з вібродавача (трикомпонентного акселерометра типу АР-21) оцифровувався з частотою 44100 Гц. Далі за допомогою цифрового фільтра відфільтровувались складові вище 3 кГц, що обумовлювалося способом кріплення вібродавачів – за допомогою магнітів. Для побудови частотного спектра застосовувалось дискретне перетворення Фур’є розміром $131072 (2^{17})$ точок. При цьому крок по частоті між сусідніми лініями спектра становив 0.336 Гц з метою забезпечення достатньої роздільної здатності по частоті.

Для згладжування використовувалось вікно Ханнінга. З метою підвищення точності постановки діагнозу розглядались пікові спектри (із максимальних значень амплітуд кожної частотної складової протягом усього часу поточного запису).

Для проведення експериментів був розроблений пристрій у вигляді

дистанційно керованого переносного багатоканального комутатора, що забезпечував перетворення і підсилення сигналу з вібродавачів, під'єднаних до його входів, та їх почергову комутацію на один вихід, який під'єднаний до АЦП. Комутатор може дистанційно керуватися оператором з персонального комп'ютера.

При розробці програмного забезпечення пристрою було створено комплексний пакет, що складається з окремих програмних модулів: огляду бази даних, занесення в базу даних, запису вібраційних процесів із звукової карти, модуля управління апаратною частиною через LPT-порт, регулятора та контролю рівня запису, автопобудови спектрів, огляду результатів запису, навігації по записах бази даних та модуля побудови і аналізу частотних спектрів, які можна використовувати як разом, так і окремо один від одного, щоб мати можливість гнучко налаштувати його під конкретну задачу та надалі використати як основу для розробки експертної системи контролю технічного стану ВНА. Структура програмного забезпечення (рис. 2) це сукупність взаємопов'язаних програмних модулів, основними з яких є чотири – модуль збору вібросигналів, модуль побудови та аналізу частотних спектрів, модуль занесення в базу даних та модуль огляду записів бази даних.

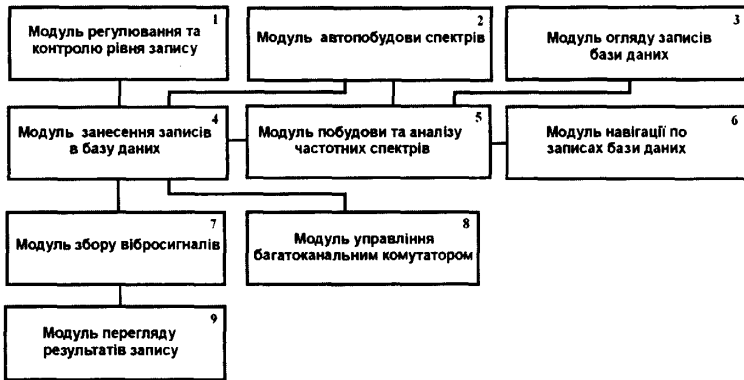


Рис. 2. Структурна схема розробленого програмного забезпечення

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено модуль збору вібросигналів та модуль запису вібросигналів. Подальша обробка даних експериментів проводилась за допомогою програмних пакетів Mathcad, Matlab, WaveLab, SpectraLAB та інших. Надалі було розроблено всі інші модулі.

У *четвертому розділі* розглядаються результати експериментальних досліджень взаємозв'язку характеристик вібраційних процесів, які генеруються елементами ВНА зі зміною їх технічного стану, визначається діагностична ознака (ДО - Ξ) та наводиться розроблений на її основі метод контролю технічного стану ВНА. Для аналізу відбиралися спектри з найбільш характерними проявами окремих дефектів, які з часом призвели до поступового погіршення технічного стану ВНА та

виникнення відмов. Окремі реалізації частотних спектрів наведено на рис. 3-6. Умовно було прийнято п'ять ступенів розвитку дефекту в ВНА: до 10% – нормальний стан; 10-40% – початковий ступінь розвитку дефекту; 40-70% – середній ступінь розвитку дефекту; 70-90% – розвинутий дефект; понад 90% – передаварійний стан.

Шляхом аналізу бази вибірок частотних спектрів для різних типів дефектів на різних ступенях їх розвитку була встановлена відсутність прямого зв'язку між зміною значення конкретної однієї гармоніки та технічним станом ВНА, що обумовлює необхідність врахування тенденції зміни різних гармонік, зокрема найбільш інформативних, при розвитку різних видів дефектів. Було зроблено висновок, що такими, зокрема, є 1, 2, 3 та 4 роторні гармоніки f_0 , а також 1, 2, 3 лопаткові гармоніки f_n (оскільки на робочому колесі ВНА розташовані 7 лопатей, тому $1f_n$ лопаткова гармоніка проявляється на частоті $7f_0$ (350 Гц), $2f_n$ – на частоті $14f_0$ (700 Гц), $3f_n$ – на частоті $21f_0$ (1050 Гц) відповідно, і т.д.), які і можуть бути покладені в основу формування ДО стану ВНА.

В процесі вибору ДО було розглянуто декілька варіантів її формування. При цьому користувались двома критеріями: по-перше, якомога меншою складністю обчислення ДО (для оперативної оцінки технічного стану необхідно обчислювати значення ДО в режимі реального часу після проведення записів вібросигналів за допомогою портативних приладів) і, по-друге, бажаним був би відносно незначний розкид зміни значення ДО. В результаті як оптимальний варіант, що задовольняв цим вимогам, було прийнято за ДО використати суму добутків значень амплітуди віброшвидкості на відповідні вагові коефіцієнти.

Для вибору останніх було проаналізовано характер зміни значень гармонік частотного спектра при різних типах та ступенях розвитку дефектів (табл. 1). Умовно їх було розділено на три групи: субгармонічні складові ($2/5$ та $1/2$) роторної частоти f_0 , основні гармонічні складові роторної f_0 та лопаткової f_n частот.

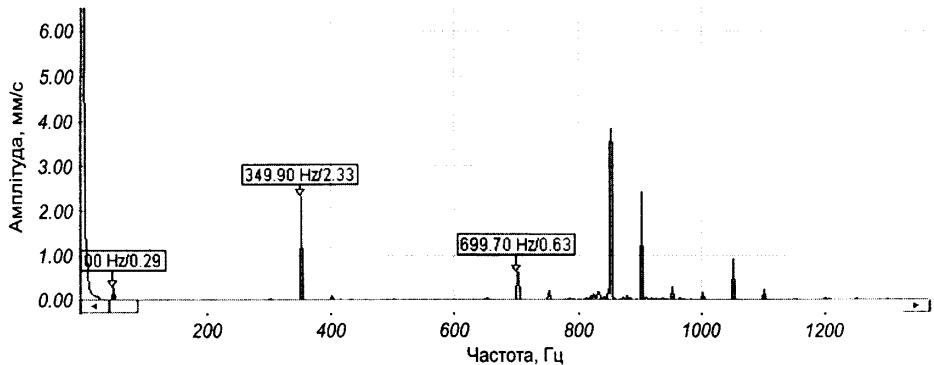


Рис. 3. Початковий ступінь розвитку дефекту робочого колеса (перший підшипник насоса, точка №2,)

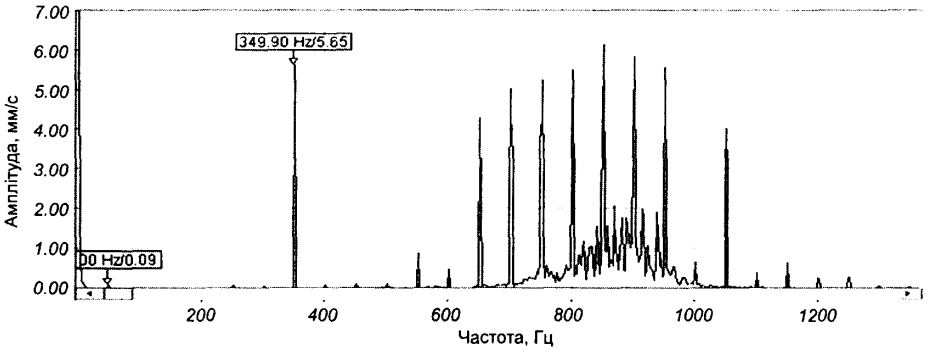


Рис. 4. Розвинутий дефект робочого колеса (перший підшипник насоса, точка №2)

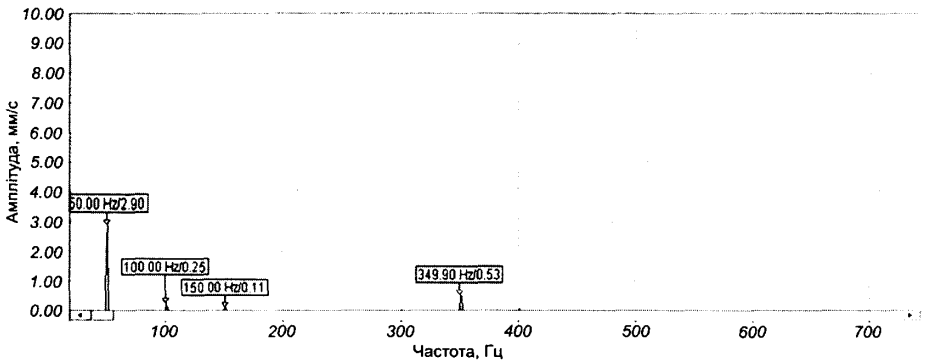


Рис. 5. Частотний спектр першого підшипника насоса при розбалансуванні (початковий ступінь розвитку дефекту, 11.01.06 р.)

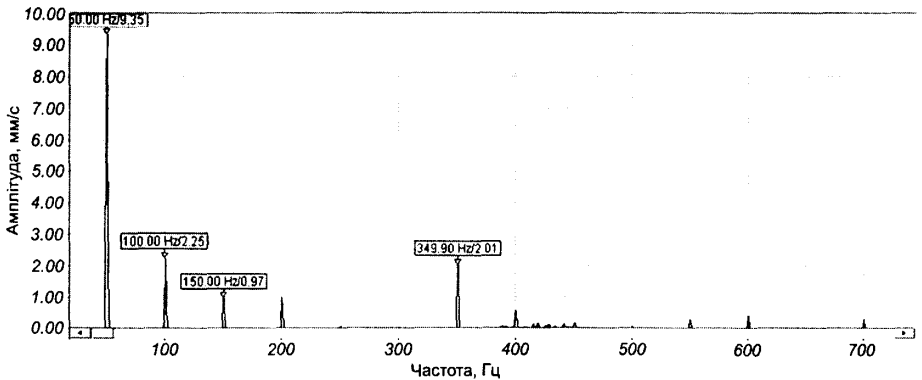


Рис.6. Частотний спектр першого підшипника насоса при розбалансуванні (розвинутий дефект, 14.08.06 р.)

Вплив дефектів на зміну частотного спектра вібраційних процесів у ВНА

| Номер гармоніки | 2/5f ₀ | 1/2f ₀ | f ₀ | 2 f ₀ | 3 f ₀ | 4 f ₀ | 5 f ₀ | 6 f ₀ | 7 f ₀ | 14f ₀ | 21f ₀ | СКЗ, мм/с | Знос | Знач. ДО |
|--|-------------------|-------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------|------|----------|
| | Частота, Гц | 20 | 25 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 700 | | | |
| Дефект робочого колеса | | | | | | | | | | | | | | |
| початковий ступінь деф. | | 0.083 | 0.295 | 0.02 | 0.024 | 0.026 | 0.025 | 0.058 | 2.333 | 0.631 | 0.753 | 2.55 | 10% | 2.51 |
| середній ступінь деф. T _н =50 дБ | | 0.003 | 0.044 | 0.002 | 0.153 | 0.027 | 0.012 | 0.024 | 2.447 | 5.487 | 0.558 | 6.04 | 50% | 4.80 |
| розвинутий дефект T _н =120 дБ | | 0.003 | 0.09 | 0.03 | 0.001 | 0.006 | 0.1 | 0.076 | 5.653 | 5.062 | 4.074 | 8.61 | 70% | 7.89 |
| передаварійн. ступінь T _н =135дБ | | 0.007 | 0.105 | 0.056 | 0.003 | 0.01 | 0.119 | 0.097 | 5.838 | 5.251 | 4.758 | 9.18 | 95% | 8.32 |
| Запікання робочими колесами направляючих апаратів | | | | | | | | | | | | | | |
| нормальний стан | | 0.001 | 0.33 | 0.004 | 0.11 | 0.33 | 0.48 | 0.65 | 1.28 | 0.16 | 0.21 | 1.61 | 10% | 1.52 |
| поч. ступінь деф. T _н =55 дБ | | 0.001 | 0.007 | 0.002 | 0.43 | 1.24 | 0.26 | 0.31 | 2.05 | 0.82 | 2.17 | 3.39 | 30% | 2.78 |
| середн. ступінь деф. T _н =80 дБ | | 0.002 | 0.009 | 0.003 | 0.21 | 0.11 | 0.13 | 0.33 | 3.34 | 4.35 | 5.72 | 7.94 | 60% | 6.23 |
| Дефект привідного електродвигуна | | | | | | | | | | | | | | |
| початковий ступінь деф. | | | 2.5 | 4.13 | 1.18 | 0.1 | 0.05 | | | | | 4.97 | 30% | 4.25 |
| середній ступінь деф. T _н =12 дБ | | | 3.85 | 7.6 | 0.78 | 0.12 | 0.09 | | | | | 8.56 | 60% | 6.90 |
| розвинутий деф. T _н =19 дБ | | | 5.51 | 9.08 | 1.1 | 0.78 | 0.23 | | | | | 10.71 | 90% | 9.05 |
| Розцентровка валів насоса та двигуна | | | | | | | | | | | | | | |
| початковий ступінь деф. | | 0.01 | 0.55 | 4.07 | 1.28 | 3.67 | 2.48 | 1.23 | 1.55 | 1.02 | | 6.56 | 30% | 5.18 |
| середній ст. T _н =7 дБ | | 0.13 | 0.5 | 4.58 | 6.34 | 2.27 | 3.35 | 3.46 | 0.76 | 1.98 | | 9.71 | 60% | 6.73 |
| розвинутий ст. T _н =15 дБ | | 0.44 | 1.46 | 6.26 | 9.23 | 8.54 | 2.57 | 5.51 | 0.61 | 1.72 | | 10.49 | 90% | 9.56 |
| Розбалансування ротора (1-ий підшипник насоса) | | | | | | | | | | | | | | |
| початковий ступінь деф. | | | 2.9 | 0.25 | 0.11 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.53 | 0.01 | | 2.96 | 10% | 2.74 |
| середній ступ. деф. T _н =105 дБ | | | 7.25 | 0.56 | 0.24 | 0.27 | 0.05 | 0.09 | 1.19 | 0.07 | | 7.38 | 60% | 6.75 |
| розвинутий деф. T _н =168 дБ | | | 9.35 | 2.25 | 0.97 | 0.98 | 0.08 | 0.06 | 2.01 | 0.36 | | 9.93 | 90% | 10.18 |
| Розбалансування ротора (2-ий підшипник насоса) | | | | | | | | | | | | | | |
| початковий ступінь деф. | | | 3.58 | 0.33 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | | 3.60 | 10% | 2.94 |
| середній ступ деф. T _н =105 дБ | | | 5.13 | 0.54 | 0.1 | 0.21 | 0.23 | 0.12 | 0.25 | 0.01 | | 5.18 | 60% | 4.39 |
| розвинутий деф. T _н =168 дБ | | | 9.19 | 1.97 | 0.14 | 0.03 | 0.07 | 0.51 | 0.87 | 0.23 | | 9.46 | 90% | 8.74 |
| Дефект підшипників ковзання | | | | | | | | | | | | | | |
| середній ступ. деф. T _н =130 дБ | 1.85 | 1.69 | 3.21 | 2.46 | 1.6 | 1.79 | 0.81 | 2.51 | 3.62 | | | 6.71 | 60% | 7.62 |
| передаварійн. ступ. T _н =197 дБ | 2.82 | 2.12 | 2.81 | 4.51 | 2.91 | 2.48 | 1.87 | 2.74 | 5.77 | | | 9.57 | 95% | 10.62 |
| Вагові коефіцієнти | 0.1 | 0.1 | 0.75 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.75 | 0.5 | 0.25 | | | |

Виділення окремої третьої групи (лопаткових гармонік) зумовлено особливістю ВНА, як об'єкта контролю, оскільки розвиток дефектів робочих коліс призводить до виникнення значної вібрації, тому очевидною є необхідність врахування в процесі контролю технічного стану ВНА значень амплітуди лопаткових гармонік.

Фактичні значення вагових коефіцієнтів для ВНА типу ЦНС-180-1900 були визначені експериментальним шляхом, дотримуючись вищенаведених рекомендацій, використовуючи зібрані статистичні дані для різних типів та ступенів розвитку дефектів, а також враховуючи відмінності в умовах їх роботи на досліджуваних нафтопромислах. Так, виходячи з того, що найбільш інтенсивними частотами є 1f₀ та 1f_л частоти (для них відповідно було встановлено K_{зваж}=0.75), далі в порядку спадання: для 2f₀ та 2f_л частот K_{зваж}=0.5, для 3f₀ та 3f_л частот K_{зваж}=0.25 і для всіх решти субгармонічних та гармонічних частот K_{зваж}=0.1 відповідно. В загальному можна записати:

$$\Xi = 0.1 \cdot A_{2/5f_0} + 0.1 \cdot A_{1/2f_0} + 0.75 \cdot A_{f_0} + 0.5 \cdot A_{2f_0} + 0.25 \cdot A_{3f_0} + 0.1 \cdot A_{4f_0} + 0.1 \cdot A_{5f_0} + 0.1 \cdot A_{6f_0} + 0.75 \cdot A_{f_{л}} + 0.5 \cdot A_{2f_{л}} + 0.25 \cdot A_{3f_{л}} = 0.75(A_{f_0} + A_{f_{л}}) + 0.5(A_{2f_0} + A_{2f_{л}}) + 0.25(A_{3f_0} + A_{3f_{л}}) + 0.1(A_{4f_0} + A_{4f_{л}} + A_{5f_0} + A_{5f_{л}} + A_{6f_0}) \quad (4)$$

Розрахувавши значення ДО, можна стверджувати, що вибрана ДО точніше

характеризує технічний стан ВНА, ніж середньоквадратичне значення (СКЗ) віброшвидкості часового сигналу, яке сьогодні широко застосовується при оцінці технічного стану. Тенденцію зміни значень ДО для розглянутих дефектів ВНА наведено на рис. 7.

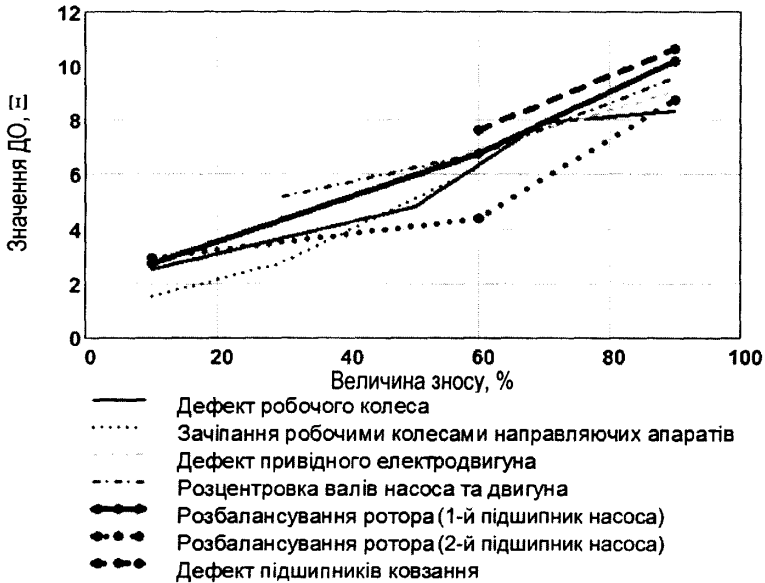


Рис. 7. Залежність зміни ДО від зміни технічного стану ВНА для різних дефектів

Екстраполювавши наведені залежності та усереднивши їх значення, можна стверджувати, що відмінному технічному стану буде відповідати значення ДО, приблизно рівне 2, а при непрацездатному стані (100% знос) значення ДО буде знаходитись у межах 11-12 одиниць. Як видно з рис.7 значення ДО для різних дефектів буде дещо відрізнятись, але загалом можна виділити 5 умовних діапазонів ДО для приблизної оцінки розвитку дефекту та загального технічного стану (табл.2)

Таблиця 2

Оцінка технічного стану та ступеня розвитку дефекту при різних значеннях ДО для ВНА типу ЦНС-180-1900

| № діапазону | Технічний стан ВНА | Ступінь розвитку дефекту | Значення ДО |
|-------------|--------------------|---------------------------------|-------------|
| 1 | відмінний | до 10% (нормальний стан) | < 2 |
| 2 | добрий | 10-40% (початковий ступінь) | 2 - 4 |
| 3 | задовільний | 40-70% (середній ступінь) | 4 - 8 |
| 4 | незадовільний | 70-90% (розвинутий дефект) | 8 - 10 |
| 5 | недопустимий | понад 90% (передаварійний стан) | > 10 |

У *п'ятому розділі* спроектовано систему контролю технічного стану ВНА за показниками вібрації, функціональна схема якої наведена на рис. 8.

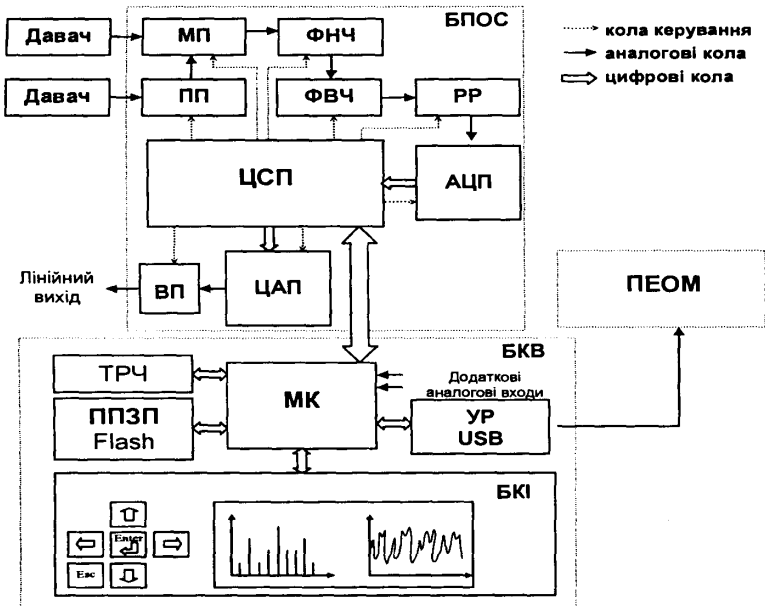


Рис. 8. Функціональна схема системи контролю технічного стану ВНА

На схемі прийнято наступні умовні позначення та скорочення: БПОС – блок попередньої обробки сигналів; ПП – попередній підсилювач; МП – мультиплексор; ФНЧ – фільтр низьких частот; ФВЧ – фільтр високих частот; РР – регулятор рівня; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ЦСП – цифровий сигнальний процесор; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; ВП – вихідний підсилювач; БКВ – блок керування та відображення інформації; МК – мікроконтролер; ТРЧ – таймер реального часу; БКІ – блок клавіатури та індикації; ППЗП – перепрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій; УР – узгоджувач рівня, ПЕОМ – персональна електронно-обчислювальна машина.

БПОС має два входи для підключення давачів вібрації, один з яких має власний ПП. Вибір входу здійснюється за допомогою керованого МП. З виходу МП аналоговий сигнал проходить через керовані ФВЧ і ФНЧ, які здійснюють його попередню фільтрацію, та надходить на вхід цифрового РР, коефіцієнт передачі якого може змінюватися в межах від 0 до 1. Далі нормалізований аналоговий сигнал оцифровується за допомогою АЦП та надходить на вхід ЦСП, який виконує функції попередньої обробки (при потребі) та передає оцифрований потік даних на БКВ, де відбувається подальша обробка сигналу. Передбачено також і зворотний варіант:

при потребі цифровий потік даних, що були записані та збережені раніше, надходить із зовнішньої пам'яті на ЦСП, де перетворюється за допомогою ЦАП і через ВП може бути відтворений у вигляді аналогового сигналу для подальшого лабораторного аналізу. ЦСП також повинен виконувати функції керування ПП та ВП, МП, ФВЧ, ФНЧ та РР.

Основним вузлом БКВ є програмований МК, який керує БПОС, а також БКІ. Через паралельну шину контролер з'єднується з таймером-лічильником реального часу, з якого отримує інформацію про поточний час та дату для ведення хронологічного журналу подій та для реалізації функції автоматичного ввімкнення/вимкнення у заданий час. Для забезпечення можливості підключення до системи додаткових давачів для вводу допоміжної інформації використовуються можливості вбудованого в контролер АЦП. Також було розроблено програмне забезпечення нижнього та верхнього рівнів системи. Результати співставлення прогнозованих дефектів з виявленими фактично, при проведенні ремонтів, показали, що достовірність контролю складає 75-80%. Було також проведено розрахунок показника вірогідності контролю, що становить $D=0.97$ та показника готовності ВНА при експлуатації розробленої системи контролю $P_r=0.943$, що підтверджує ефективність розробленої системи. Проведено оцінку точності вимірювань, яка показала, що сумарна зведена похибка вимірювання розробленої системи становить 5,02 %.

ВИСНОВКИ

У дисертації подано нове рішення науково-технічного завдання, яке полягає в розробці методу та засобів контролю технічного стану відцентрових насосних агрегатів системи підтримання пластового тиску для підвищення надійності їх експлуатації та забезпечення більш повного використання закладеного в них ресурсу.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. На основі аналізу сучасного стану задачі контролю технічного стану ВНА систем ППТ встановлено, що існуючі методи параметричного контролю є надто складними в реалізації на практиці, оскільки не дають змоги визначати стан окремих вузлів і деталей ВНА, а дають інтегральну оцінку стану ВНА в цілому. Доведена та обґрунтована доцільність методів вібродіагностики для вирішення поставлених в роботі задач.

2. Розроблено логічну причинно-наслідкову модель ВНА, використання якої дає змогу відслідкувати найслабші ланки у ВНА і детально дослідити послідовність розвитку дефектів та їх зв'язок між собою.

3. Обґрунтовано використання функції передачі ВНА для оцінки зміни його ККД в процесі експлуатації, показано можливість застосування частотно-часових розподілів (ЧЧР), зокрема ЧЧР Вігнера-Вілля для розширеного аналізу вібраційних

процесів у ВНА при наявності в частотних спектрах складних коливань, що дозволяє здійснювати пошук дефектів робочих коліс та ущільнень на початкових стадіях їх розвитку.

4. Розроблено методичне, технічне та програмне забезпечення для проведення експериментальних досліджень з врахуванням особливостей та умов роботи ВНА, обґрунтовано вибір вібродавачів для системи контролю та розташування контрольних точок вимірювання вібрації на корпусі ВНА системи ППТ типу ЦНС-180-1900, що дозволяє оперативно проводити комплекс цілеспрямованих досліджень та обробку отриманих даних в режимі реального часу.

5. Досліджено вплив дефектів вузлів та елементів ВНА на зміну частотного спектра вібраційних процесів, що генеруються роботою ВНА, визначено закономірності їх зміни з розвитком дефектів та доведено необхідність врахування визначеної сукупності гармонічних складових частотного спектра, що дало змогу обґрунтувати вибір та визначити комплексну діагностичну ознаку стану ВНА.

6. Розроблено новий метод контролю технічного стану ВНА на базі запропонованої комплексної діагностичної ознаки стану ВНА як суми добутків значень амплітуди віброшвидкості на відповідні зважуючі коефіцієнти, визначені експериментальним шляхом виходячи з величини зміни найбільш інтенсивних гармонік частотного від зміни технічного стану ВНА та встановлено допустимі межі зміни діагностичної ознаки, що дозволяє оперативно визначати технічний стан ВНА безпосередньо в польових умовах.

7. Сформульовані основні вимоги до системи контролю технічного стану ВНА, розроблена її структурна схема та принципи електричні схеми її складових: блоку попередньої обробки сигналів, блоку керування та відображення інформації, а також програмне забезпечення верхнього та нижнього рівнів системи. Визначено вірогідність контролю $D=0.97$ та показник готовності ВНА при експлуатації розробленої системи контролю $P_r=0.943$. Розраховано сумарну зведену похибку спроектованої системи, яка становить 5.02 %.

8. Проведена промислова апробація розробленого методу та системи контролю технічного стану ВНА систем ППТ на нафтопромислах НГВУ "Долина нафтогаз", результати якої підтвердили їх ефективність та надійність експлуатації. За попередніми оцінками, достовірність контролю становить 75-80%. Даний метод є універсальним, що дозволяє використовувати його для контролю технічного стану інших типів насосів різних галузей промисловості.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Паньків Ю.В. Особливості насосного агрегата ЦНС-180-1900 як об'єкта діагностування при роботі в системі підтримання пластового тиску / Ю.В. Паньків // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2006. – №1(95). – С. 161–168.

2. Паньків Ю.В. Дослідження впливу дефектів на зміну частотного спектру вібраційних процесів у відцентрових насосних агрегатах систем підтримання пластового тиску / Ю.В. Паньків // *Методи та прилади контролю якості.* – 2007. – №18. – С. 22–26.

3. Паньків Ю.В. Прогнозування залишкового ресурсу відцентрового насосного агрегату ЦНС-180-1900 за його вібраційними показниками / Ю.В. Паньків // *Наукові вісті ІМЕ.* – 2006. – №10. – С. 83–89.

4. Заміховський Л.М. Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи моніторингу стану відцентрових насосів систем підтримання пластового тиску / Л.М. Заміховський, Ю.В. Паньків // *Вісник Хмельницького національного університету.* – 2005. – №4. Частина 1. Том 1. – С. 19–22.

5. Заміховський Л.М. Діагностична модель відцентрового насосного агрегату як основної складової системи підтримання пластового тиску / Л.М. Заміховський, Ю.В. Паньків // *Методи та прилади контролю якості.* – 2005. – №15. – С. 43–45.

6. Заміховський Л.М. Вдосконалення стратегії розміщення вібродавачів на корпусі ГПА при контролі його вібростану / Л.М. Заміховський, В.П. Іванишин, Ю.В. Паньків // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.* – 2004. – №2. – С. 118–123.

7. Заміховський Л.М. Вибір раціональної діагностичної ознаки для контролю технічного стану відцентрових насосних агрегатів системи підтримання пластового тиску / Л.М. Заміховський, Ю.В. Паньків // *Восточно-европейский журнал передовых технологий.* – 2008. – №2(32). – С. 58–61.

8. Заміховський Л.М. Логічна діагностична модель відцентрового насосного агрегату для систем підтримання пластового тиску / Л.М. Заміховський, Ю.В. Паньків // *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини.* – 2008. – №71. – С. 87–91.

9. Заміховський Л.М. Методика діагностичного обстеження вібраційного стану відцентрових насосних агрегатів системи підтримання пластового тиску / Л.М. Заміховський, Ю.В. Паньків // *Наукові вісті ІМЕ.* – 2004. – №6. – С. 216–221.

10. Заміховський Л.М. Повышение достоверности результатов диагностирования центробежных насосных агрегатов системы поддержания и пластового давления виброакустическими методами / Л.М. Замиховский, Ю.В. Паньков // *Методы и средства технической диагностики: XXIII международная межвузовская школа-семинар, 28 июня – 5 июля 2006г.: Сборник научных статей, вып. XXIII.* – Йошкар-Ола, 2006. – С. 138–146.

11. Pankiv Y. Development of automatized monitoring and diagnostic system of centrifugal pumps for the stratum pressure support / Y.Pankiv // *The experience of designing and application of CAD systems in microelectronics (CADSM-2005): 8th International Conference, 23-26 February 2005: збірник матеріалів конференції CADSM-2005.* – Славське, 2005. – С. 362–364.

АНОТАЦІЯ

Паньків Ю.В. Розроблення методу та системи контролю технічного стану насосних агрегатів систем підтримання пластових тисків на нафтових родовищах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2010.

В роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу розробки методу та засобів контролю технічного стану відцентрових насосних агрегатів (ВНА) системи підтримання пластового тиску для підвищення надійності їх експлуатації та забезпечення більш повного використання ресурсу. Для вирішення поставленої задачі були розглянуті особливості роботи насосних агрегатів у системі підтримання пластового тиску та причини і фактори, що зумовлюють виникнення їх дефектів та відмов, проведено аналіз відцентрового насосного агрегату як об'єкта вібродіагностики, який дав змогу визначити та надалі підтвердити експериментально наявність вказаних вище можливих джерел вібрації ВНА, та розроблено його діагностичну модель. Наведено аналіз результатів експериментальних досліджень зв'язку зміни вібрації робочих органів ВНА зі зміною їх технічного стану, визначено діагностичну ознаку – суму добутків значень амплітуди віброшвидкості експериментально визначених найбільш інформативних частотних складових на відповідні вагові коефіцієнти та розроблено на їх основі новий метод контролю. Розроблено методичне, технічне і програмне забезпечення для реалізації запропонованого методу контролю стану ВНА.

Ключові слова: технічний стан, технічна діагностика, відцентровий насосний агрегат, підтримання пластового тиску, відмови, дефекти, діагностична ознака.

АННОТАЦИЯ

Паньков Ю.В. Разработка метода и системы контроля технического состояния насосных агрегатов систем поддержания пластовых давлений на нефтяных месторождениях. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля и определения состава веществ. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2010.

В работе решена актуальная научно-техническая задача разработки метода и средств контроля технического состояния центробежных насосных агрегатов (ЦНА) системы поддержания пластового давления для повышения надежности их эксплуатации и обеспечения более полного использования ресурса. Решение этой проблемы является важным, поскольку дает возможность перейти от системы

планово-предупредительных ремонтов ЦНА к ремонту по фактической технической необходимости и, соответственно, уменьшает затраты на их обслуживание.

Для решения поставленной задачи были рассмотрены особенности работы насосных агрегатов в системе поддержания пластового давления, причины и факторы, которые обуславливают возникновение в них дефектов и отказов. Проведенный анализ исследований современных методов диагностирования ЦНА в процессе эксплуатации и их внедрения показал что в данное время отсутствуют специально разработанные методы диагностики для ЦНА, которые применяются в системах ППД. Перспективным является использование методов вибрационной диагностики, ориентированных на использование диагностической информации, которая содержится в колебательных процессах узлов ЦНА. На основании проведенного анализа современного состояния проблемы сформулированы цели и задание диссертационной работы.

С целью разработки нового метода контроля состояния ЦНА был проведен анализ центробежного насосного агрегата как объекта вибродиагностики, который дал возможность определить и в дальнейшем подтвердить экспериментально наличие указанных выше возможных источников вибрации в ЦНА, и разработана диагностическая модель ЦНА использование которой дало возможность определить логическую последовательность развития в нем дефектов. Рассмотрена проблема определения передаточной функции ЦНА типа ЦНС-180-1900 с целью оценки изменения его КПД в процессе работы, а также вопроса оценки наличия начальных стадий развития дефектов рабочих колес и уплотнений насоса, по спектральным характеристикам его вибросигналов, предложено использовать для подробного анализа современные частотно-временные преобразования, в частности ЧВП Вигнера-Вилля. Было построено пространственные картины распределения Вигнера-Вилля энергии вибросигнала, записанного в момент пуска ЦНА типа ЦНС-180-1900, и доказана возможность их использования для поиска дефектов рабочих колес и уплотнений на начальных стадиях их развития.

Также было разработано методическое, техническое и программное обеспечение метода контроля состояния ЦНА позволяющее оперативно провести комплекс экспериментов с целью определения закономерностей изменения составляющих частотного спектра вибрационных процессов при возникновении и развитии дефектов ЦНА.

Приведен анализ результатов экспериментальных исследований связи изменения вибрации рабочих органов ЦНА со сменой их технического состояния. Доказано что не существует связи между изменением уровня любой одной гармонической составляющей частотного спектра виброскорости и техническим состоянием ЦНА, поэтому определено несколько основных информативных гармоник и показано что в процессе контроля технического состояния ЦНА необходимо учитывать тенденцию изменения их всех одновременно. Определен диагностический признак, и разработан на его основе метод контроля. Было принято

решение в качестве диагностического признака использовать сумму произведений значений амплитуды виброскорости наиболее информативных частотных составляющих на соответствующие весовые коэффициенты.

Также была спроектирована система контроля технического состояния ЦНА по показателям вибрации.

Ключевые слова: техническое состояние, техническая диагностика, центробежный насосный агрегат, поддержание пластового давления, отказы, дефекты, диагностический признак.

THE ABSTRACT

Pankiv Y.V. Development of the method and system for the technical state control of pump aggregates in the oil-fields stratum pressure support systems. – Manuscript.

The thesis for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences by the speciality 05.11.13 – “Devices and Methods for Control and Defining of Matter Composition” – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2010.

The significant scientific and technical problem devoted to development of method and system for controlling the technical state of centrifugal pump aggregates (CPA) used in the systems of stratum pressure support with the aim to increase the reliability of its exploitation. The main features of CPA, reasons and factors which predetermine the causes of their defects and refusals were reviewed. The analysis of modern diagnostical methods current state related to CPA was performed. On the basis of the performed analysis of the problem current state, a purpose and tasks of thesis were formulated.

The analysis of centrifugal pump aggregate as the object of vibrodiagnostics was performed, which allow us to define and to confirm experimentally the number of the possible vibration sources and to develop it's diagnostical model. The analysis of experimental researches of the CPA operating parts vibration influence with its technical state changing was performed, the diagnostical value was defined, and developed a new control method, based on it. As a diagnostic value the sum of the products of most informing frequency components of vibrovelocity amplitude values on the experimentally certain on the proper weighting coefficients was used. Also developed the methodical instructions, hardware and software for the new method of CPA technical state control implementation.

Keywords: technical state, technical diagnostics, centrifugal pump aggregate, stratum pressure support, refusals, defects, diagnostical value.



an2086