

1.1.1 Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

---

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

---

(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

---

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розробка експертної системи діагностування газоперекачувального агрегату за параметрами вібрації»

---

---

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КАМ-61

спеціальності 151 «Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Копина Т.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Трембач Р.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль

2020

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Копині Тарасу Васильовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка експертної системи діагностування газоперекачувального агрегату за параметрами вібрації»

Керівник роботи к.т.н., доцент Трембач Р.Б.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «30» вересня 2020 року № 4/7-705

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Поняття експертної системи	8
1.2 Інженерія знань в експертних системах	17
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	23
2.1 Методика діагностування дефектів	23
2.2 Умови визначення нормального стану агрегату	24
2.3 Класифікація діагностичних параметрів вібрації	25
2.4 Оцінка стану ГПА за параметрами вібрації	26
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	49
3.1 Реалізація та проектування експертних систем	49
3.2 Особливості діагностування технічних об'єктів за допомогою експертних систем	54
3.3 Переваги та недоліки діагностування за допомогою експертних систем	55
3.4 Розвиток експертних систем	57
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	68
4.1 Відмови і дефекти ГПА	68
4.2 Розробка загальної структури	71
4.3 Побудова бази знань	80
4.4 Побудова внутрішніх правил	83
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	94
5.1 Розробка структури та алгоритму програмного забезпечення	94
5.2 Апробація системи	95
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	100

СИТУАЦІЯХ	
6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища	100
6.2 Робота з ЕОМ	111
6.3 Безпека життєдіяльності	114
ВИСНОВКИ	124
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	125
Додаток А. Текст програми секцій експертної системи	127
Додаток Б. Текст програми параметрів експертної системи	133

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

ЕС – експертна система

БЗ – база знань

РП – робоча пам'ять

СУБД – системах управління базами даних

ІПС – інформаційно-пошукова система

БД – база даних

ІС – інструментальні засоби

ОД – об'єкт діагностування

СД – системи діагностування

КЕОМ – керуюча електронно-обчислювальна машина

Г – генератор

ГПА – газоперекачувальний агрегат

БП – буферна пам'ять

САПР – системи автоматизованого проектування

ГТ – турбоагрегат

КТ – контрольні точки

А-З – атрибут-значення

О-А-З – об'єкт-атрибут-значення

## ВСТУП

Надійність роботи газоперекачуючого агрегату залежить від ряду факторів, в тому числі і від вібрації, яка згубно відбивається на його технічному стані. При вібрації окремі деталі та вузли піддаються впливу знакозмінних навантажень. Це приводить до підвищених напруги, в результаті чого знижується міцність деталей і в кінцевому випадку може наступити руйнування.

Як найменш міцні, в першу чергу порушуються опорно-упорні підшипники, зубчаті передачі редукторів, з'єднувальні муфти, деталі регулювання та інше. Вібрація агрегату загрожує також цілісності лопаткового апарату, оскільки частоти власних коливань лопаток можуть співпасти з частотою вимушених коливань від загальної вібрації агрегату. Це може викликати резонанс лопаток і привести до їхнього руйнування. Висока вібрація агрегату може також визвати послаблення кріплень маслопроводів а також їх поломку, що приводить до великих протікань масла і, як наслідок, пожарів на працюючих агрегатах.

Через підшипники, опори і фундаментні рами вібрація від агрегата передається на фундамент, в результаті чого послаблюється кріплення цих вузлів між собою. Тим самим порушується загальна жорсткість агрегату.

Небезпечність вібрації оцінюється не тільки з точки зору надійності та довговічності роботи турбоагрегату, а також виходячи з міркувань шкідливого її впливу на людський організм. Згідно гігієнічної характеристики «..вібрації викликають зміну збуджень центральної та периферійної нервової системи, притуплення слуху та інше. При хронічному впливі вібрації в виробничих умовах настає зниження роботоздатності, підвищена подразненість.

Таким чином забезпечення якісного контролю вібраційного стану газоперекачуючого агрегата за допомогою експертної системи дає можливість зменшити витрати на проведення технічних оглядів, та планово -

попереджувальних ремонтів, збільшити строки експлуатації технологічного обладнання, а також за рахунок своєчасної сигналізації про наявність дефектів, зменшити руйнування та фізичний знос механізмів.

Основна мета кваліфікаційної роботи – розробка експертної системи діагностування ГПА за параметрами вібрації. Для її реалізації необхідна інформація в кожний поточний момент часу про вібраційний стан газоперекачуючого агрегата за допомогою системи віброконтролю ГПА. Контроль вібрації повинен проводитись періодично на протязі всього часу експлуатації агрегатів при наявності засобів автоматичного захисту. При виході чисельного значення рівня вібрації за їх нормовані рівні, повинні проводитися відповідні заходи по виявленню причин підвищеної вібрації ГПА з подальшим їх усуненням та наступним проведенням процедури. В роботі також виконаний вибір середовища експертної системи за оцінкою стану ГПА. Розробка експертної системи діагностування пов'язана з особливостями загальної структури, побудови бази знань, а також побудови внутрішніх правил. Апробація системи та доведення її в умовах визначення нормального стану агрегату є найбільш актуальним етапом впровадження в діюче виробництво.



# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Поняття експертної системи

Експертні системи - це клас комп'ютерних програм, які пропонують рекомендації, проводять аналіз, виконують класифікацію, дають консультації і ставлять діагноз. Вони орієнтовані на розв'язування задач, вирішення яких вимагає проведення експертизи людиною-спеціалістом. На відміну від програм, що використовують процедурний аналіз, експертні системи розв'язують проблеми у вузькій предметній площині (конкретній ділянці експертизи) на основі логічних міркувань. Такі системи часто можуть знайти розв'язок задач, які неструктуровані і неточно визначені. Вони через використання евристик компенсують відсутність структурованості, що корисно в ситуаціях, коли недостатня кількість необхідних даних або часу виключає можливість проведення повного аналізу.

Основою експертної системи є сукупність знань, яка структурується для спрощення процесу прийняття рішення. Для спеціалістів в галузі штучного інтелекту термін "знання" означає інформацію, що потрібна програмі для того, щоб вона вела себе інтелектуально. Ця інформація приймає форму фактів або правил. Факти і правила не завжди правдиві або неправильні, інколи існує деяка міра неправильності в достовірності факту або точності правила. Якщо сумнів виражається явно, то він називається коефіцієнтом впевненості.

На сьогодні одержав розвиток напрямок використання концепції банку знань - автоматичний синтез знань. Проблема синтезу знань, або індуктивного висновку, безсумнівно, складніша і глобальніша, ніж аналіз наявних знань, що відбувається в експертних системах. По суті, мова тут йде про надання ЕОМ елементів творчого мислення, характерного для людини. Про вичерпне вирішення цієї проблеми не може бути і мови ні найближчим часом, ні в доступному для огляду майбутньому. Досягне на даний час рішення полягає в

створенні механізмів знань у рамках окремих проблемно-орієнтованих галузей, у яких можливий синтез на основі деякого набору правил, що володіють повнотою щодо можливих ситуацій створення знань.

Експертна система відрізняється від інших прикладних програм наявністю наступних ознак.

- Моделює не стільки фізичну (або іншу) природу певної проблемної області, скільки механізм мислення людини стосовно вирішення задач в цій проблемній області. Це істотно відрізняє експертні системи від систем математичного моделювання або комп'ютерної анімації. Не можна, звичайно, сказати, що програма повністю відтворює психологічну модель фахівця в цій наочній області (експерта), але важливо, що основна увага все-таки приділяється відтворенню комп'ютерними засобами методики вирішення проблем, яка застосовується експертом, - тобто виконанню деякої частини завдань так само, як це робить експерт.

- Система, крім виконання обчислювальних операцій, формує певні міркування і виводи, ґрунтуючись на тих знаннях, які вона має в своєму розпорядженні. Знання в системі представлені, як правило, на деякій спеціальній мові і зберігаються окремо від власне програмного коду, який і формує виводи і міркування. Цей компонент програми прийнято називати базою знань.

- При вирішенні задач основними є евристичні і наближені методи, які, на відміну від алгоритмічних, не завжди гарантують успіх. Евристика, по суті, є правилом впливу (rule of thumb), який в машинному вигляді представляє деяке знання, придбане людиною у міру накопичення практичного досвіду вирішення аналогічних проблем. Такі методи є приблизними в тому сенсі, що, по-перше, вони не вимагають вичерпної початкової інформації, і, по-друге, існує певний ступінь упевненості (або невпевненості) в тому, що запропоноване рішення є вірним.

Експертні системи відрізняються і від інших видів програм з області штучного інтелекту.

Експертні системи мають справу з предметами реального миру, операції з якими зазвичай вимагають наявності значного досвіду, накопиченого людиною. Безліч програм з області штучного інтелекту є суто дослідженнями і основна увага в них приділяється абстрактним математичним проблемам або спрощеним варіантам реальних проблем (іноді їх називають "іграшковими" проблемами), а метою виконання такої програми є "підвищення рівня інтуїції" або відробіток методики. Експертні системи мають яскраво виражену практичну спрямованість в науковій або комерційній області.

Однією з основних характеристик експертної системи є її продуктивність, тобто швидкість отримання результату і його достовірність (надійність). Дослідницькі програми штучного інтелекту можуть і не бути дуже швидкими, можна примиритися і з існуванням в них відмов в окремих ситуаціях, оскільки, врешті-решт, - це інструмент дослідження, а не програмний продукт. А ось експертна система винна за прийнятний час знайти рішення, яке було б не гірше, ніж те, яке може запропонувати фахівець в цій наочній області.

Експертна система повинна володіти здатністю пояснити, чому запропоновано саме таке рішення, і довести його обґрунтованість. Користувач повинен отримати всю інформацію, необхідну йому для того, щоб бути упевненим, що рішення ухвалене "не із стелі". На відміну від цього, дослідницькі програми "спілкуються" тільки з своїм творцем, який і так (швидше за все) знає, на чому ґрунтується її результат. Експертна система проектується з розрахунку на взаємодію з різними користувачами, для яких її робота повинна бути, по можливості, прозорою.

Часто термін система, заснована на знаннях (knowledge-based system), використовується як синонім терміну експертна система, хоча, строго кажучи, експертна система - це ширше поняття. Система, заснована на знаннях, - це будь-яка система, процес роботи якої заснований на застосуванні правил відносин до символічного представлення знань, а не на використанні алгоритмічних або статистичних методів. Таким чином, програма, здатна

міркувати про погоду, буде системою, заснованою на знаннях, навіть в тому випадку, якщо вона не здатна виконати метеорологічну експертизу. А ось щоб мати право називатися метеорологічною експертною системою, програма повинна бути здатна давати прогноз погоди (інше питання - наскільки він буде достовірний).

Підсумовуючи все сказане, відзначимо - експертна система містить знання в певній наочній області, накопичені в результаті практичної діяльності людини (або людства), і використовує їх для вирішення проблем, специфічних для цієї області. Цим експертні системи відрізняються від інших, "традиційних" систем, в яких перевага віддається більш загальною і менш пов'язаним з наочною областю теоретичним методам, найчастіше математичним. Процес створення експертної системи часто називають інженерією знань (knowledge engineering) і він розглядається як "застосування методів штучного інтелекту" (див. [Feigenbaum, 1977]). Далі, в розділах 2 і 4, розглянемо відмінність між загальноприйнятим в програмуванні підходом до вирішення проблем і тим, який пропонується при проектуванні експертних систем.

Класифікація ЕС:

а) За задачею:

- ЕС інтерпретації даних визначають смисл даних.
- ЕС діагностики відносять об'єкт до деякого класу та визначають дефекти у деякій системі. Дефект — це відхилення від норми. Таке трактування дозволяє з єдиних теоретичних позицій розглядати дефекти обладнання у технічних системах, захворювання живих організмів та всілякі природні аномалії.
- ЕС моніторингу орієнтовані на неперервну інтерпретацію даних у реальному часі та сигналізацію при виході деяких параметрів за допустимі значення.
- ЕС проектування готують специфікації на створення об'єктів з заданими властивостями.
- ЕС прогнозування логічно виводять вірогідні наслідки з заданих ситуацій.

- ЕС планування знаходять плани дій. У таких ЕС використовуються моделі поведінки реальних об'єктів з тим, щоб логічно вивести наслідки дій, що плануються.
- ЕС навчання — діагностують помилки при вивченні якої-небудь дисципліни за допомогою ЕОМ та підказують правильні рішення. Вони акумулюють знання про учнів та їх характерні помилки, потім, у роботі, вони здатні діагностувати погане знання предметів у учнів та знаходити відповідні засоби для ліквідації (поганого знання).
- Загалом, усі системи, що базуються на знаннях, можна розділити на системи, що вирішують задачі аналізу та синтезу. Основна відмінність задач синтезу у тому, що якщо у задачах аналізу множина можливих рішень може бути перерахована та включена у систему, то в задачах синтезу множина рішень будується з рішень компонент або підкомпонент.
  - б) За зв'язком з реальним часом:
    - Статичні ЕС розробляються у предметних областях у яких база знань та дані, що інтерпретуються на змінюються за час вирішення задачі.
    - Квазідинамічні ЕС інтерпретують ситуацію, що змінюється з деяким фіксованим інтервалом часу.
    - Динамічні ЕС працюють з даними, що змінюються під час вирішення задачі, часто у зв'язку з датчиками об'єктів, іноді у режимі реального часу з безперервною інтерпретацією даних, що надходять.
  - с) За ступенем інтеграції з іншими програмами:
    - Автономні ЕС працюють безпосередньо в режимі консультацій з користувачем, тільки у випадку експертних задач, при рішенні яких не потрібні традиційні методи обробки даних.
    - Гібридні ЕС суміщають стандартні пакети програм та засоби маніпулювання знаннями. Це може бути інтелектуальна надбудова над пакетом прикладних програм або інтегроване середовище для вирішення складних задач з елементами експертних знань.

- Незважаючи на зовнішню принаду гібридного підходу, розробка таких систем є задача на порядок складніше, ніж розробка автономної ЕС. Стиковка не просто різних пакетів, а й різних методологій створює комплекс теоретичних та практичних труднощів.

Типова статична ЕС складається з наступних основних компонентів (рис. 1.1):

- вирішувача (інтерпретатора);
- робочій пам'яті (РП), званою також базою даних (БД);
- бази знань (БЗ);
- компонентів придбання знань;
- пояснювального компоненту;
- діалогового компоненту.

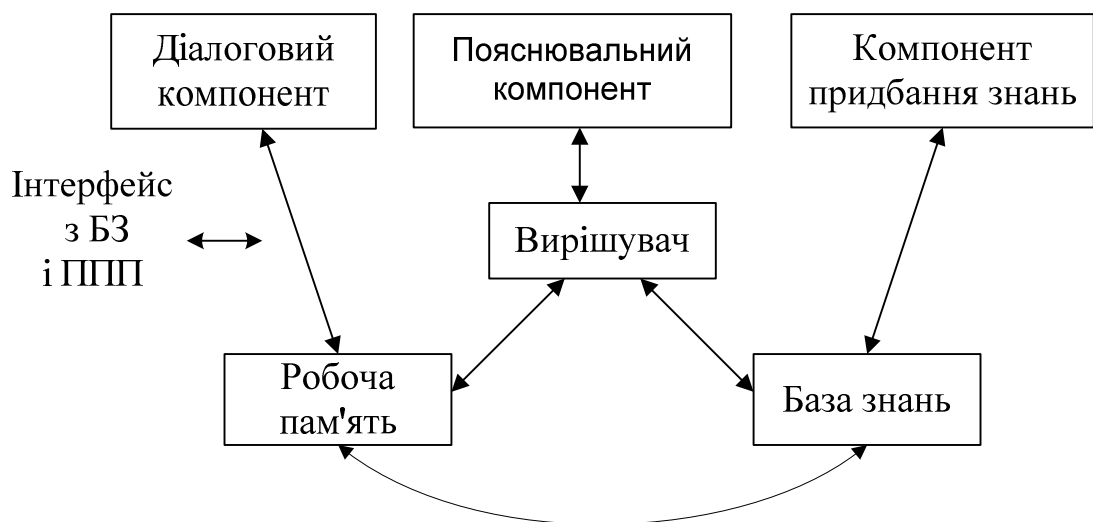


Рисунок 1.1 – Структура статичної експертної системи.

База даних (робоча пам'ять) призначена для зберігання початкових і проміжних даних вирішуваної у нинішній момент задачі. Цей термін співпадає по назві, але не по сенсу з терміном, використовуваним в інформаційно-пошукових системах (ІПС) і системах управління базами даних (СУБД) для позначення всіх даних (в першу чергу довгострокових), що зберігаються в системі.

База знань (БЗ) в ЕС призначена для зберігання довгострокових даних, що описують дану область (а не поточних даних), і правил, що описують доцільні перетворення даних цієї області.

Вирішувач, використовуючи початкові дані з робочої пам'яті і знання з БЗ, формує таку послідовність правил, які, будучи застосованими до початкових даних, приводять до рішення задачі.

Компонент придбання знань автоматизує процес наповнення ЕС знаннями, здійснюваний користувачем-експертом.

Пояснювальний компонент пояснює, як система отримала рішення задачі (або чому вона не отримала рішення) і які знання вона при цьому використовувала, що полегшує експертові тестування системи і підвищує довіру користувача до отриманого результату.

Діалоговий компонент орієнтований на організацію дружного спілкування з користувачем як в ході вирішення задач, так і в процесі придбання знань і пояснення результатів роботи.

У розробці ЕС беруть участь представники наступних спеціальностей:

- експерт в проблемній області, завдання якої вирішуватиме ЕС;
- інженер по знаннях - фахівець з розробки ЕС (використовувані їм технологію, методи називають технологією (методами) інженерії знань);
- програміст по розробці інструментальних засобів (ІС), призначених для прискорення розробки ЕС.

Необхідно відзначити, що відсутність серед учасників розробки інженерів по знаннях (тобто їх заміна програмістами) або приводить до невдачі процес створення ЕС, або значно подовжує його.

Експерт визначає знання (дані і правила), що характеризують проблемну область, забезпечує повноту і правильність введених в ЕС знань.

Інженер по знаннях допомагає експертові виявити і структурувати знання, необхідні для роботи ЕС; здійснює вибір того ІС, яке найбільш підходить для даної проблемної області, і визначає спосіб представлення знань в цьому ІС; виділяє і програмує (традиційними засобами) стандартні функції

(типів для даної проблемної області), які використовуватимуться в правилах, що вводяться експертом.

Програміст розробляє ІС (якщо ІС розробляється наново), що містить в межах всі основні компоненти ЕС, і здійснює його сполучення з тим середовищем, в якому воно буде використано.

Експертна система працює в двох режимах: режимі придбання знань і в режимі рішення задачі (званому також режимом консультації або режимом використання ЕС).

У режимі придбання знань спілкування з ЕС здійснює (через посередництво інженера по знаннях) експерт. У цьому режимі експерт, використовуючи компонент придбання знань, наповнює систему знаннями, які дозволяють ЕС в режимі рішення самостійно (без експерта) вирішувати завдання з проблемної області. Експерт описує проблемну область у вигляді сукупності даних і правил. Дані визначають об'єкти, їх характеристики і значення, що існують в області експертизи. Правила визначають способи маніпулювання з даними, характерні для даної області.

Відзначимо, що режиму придбання знань в традиційному підході до розробки програм відповідають етапи алгоритмізації, програмування і відладки, що виконуються програмістом. Таким чином, на відміну від традиційного підходу у разі ЕС розробку програм здійснює не програміст, а експерт (за допомогою ЕС), що не володіє програмуванням.

У режимі консультації спілкування з ЕС здійснює кінцевий користувач, якого цікавить результат і (або) спосіб його отримання. Необхідно відзначити, що залежно від призначення ЕС користувач може не бути фахівцем в даній проблемній області (в цьому випадку він звертається до ЕС за результатом, не уміючи отримати його самого), або бути фахівцем (в цьому випадку користувач може сам отримати результат, але він звертається до ЕС з метою або прискорити процес отримання результату, або покласти на ЕС рутинну роботу). У режимі консультації дані про завдання користувача після обробки їх діалоговим компонентом поступають в робочу пам'ять. Вирішувач на основі



вхідних даних з робочої пам'яті, загальних даних про проблемну область і правил з БЗ формує рішення задачі. ЕС при рішенні задачі не тільки виконує наказану послідовність операції, але і заздалегідь формує її. Якщо реакція системи не зрозуміла користувачеві, то він може зажадати пояснення: "Чому система ставить те або інше питання?", "як відповідь, що збирається системою, отримана?".

Структуру, приведену на рис. 1.1, називають структурою статичної ЕС. ЕС даного типу використовуються в тих застосуваннях, де можна не враховувати зміни навколишнього світу, завдання, що відбуваються за час рішення. Перші ЕС, що отримали практичне використання, були статичними.

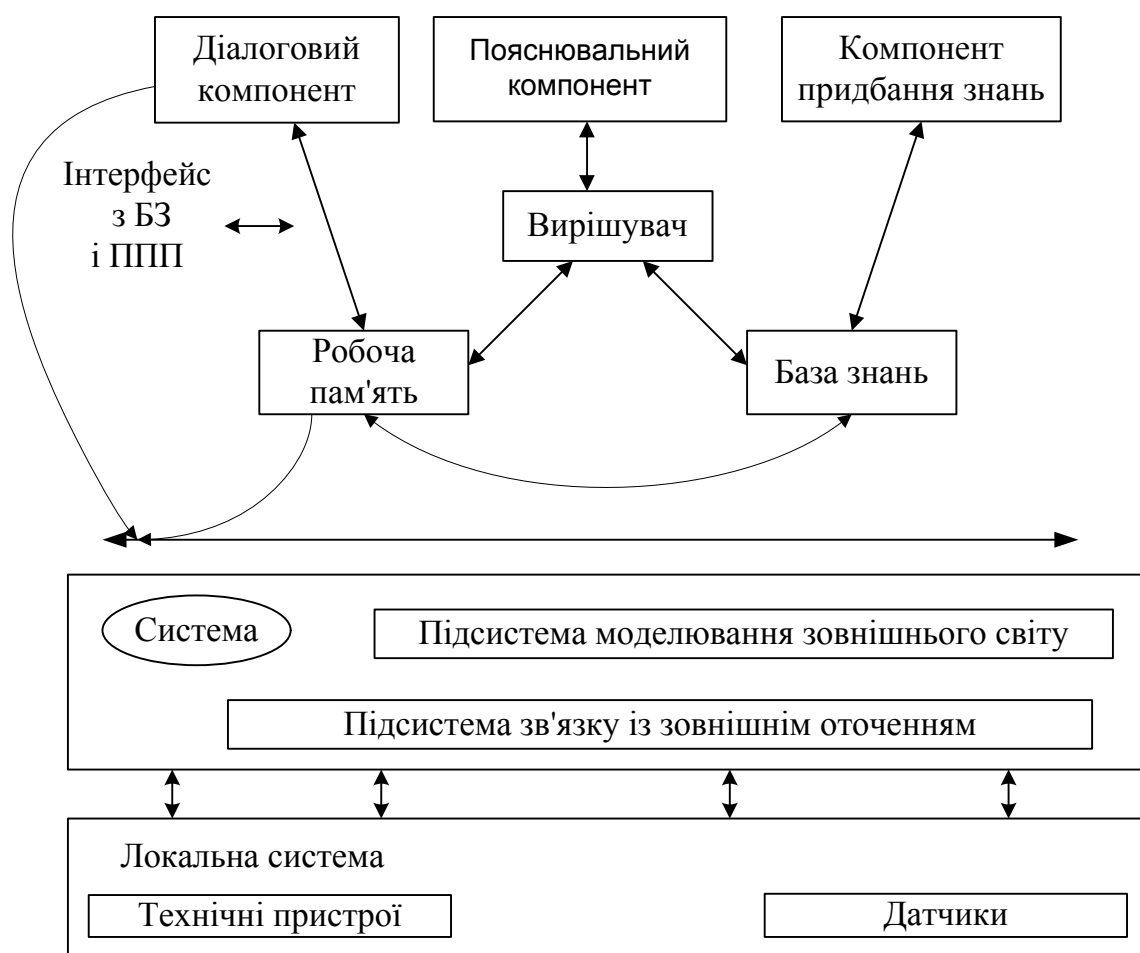


Рисунок 1.2 – Архітектура динамічної експертної системи.

На рис. 1.2 показано, що в архітектуру динамічної ЕС в порівнянні із статичною ЕС вводяться два компоненти: підсистема моделювання зовнішнього світу і підсистема зв'язку із зовнішнім оточенням. Остання здійснює зв'язку із зовнішнім світом через систему датчиків і контролерів. Крім того, традиційні компоненти статичної ЕС (база знань і машина виводу) зазнають істотні зміни, щоб відобразити тимчасову логіку подій, що відбуваються в реальному світі.

## **1.2 Інженерія знань в експертних системах**

Основою експертних систем є знання. Знання – це цілісна і систематизована сукупність понять про закономірності природи, суспільства і мислення, нагромаджена людством в процесі активної перетворюючої діяльності і спрямована на подальше пізнання і зміни об'єктивного світу. Знання з предметної ділянки називається базою знань. База знань експертної системи містить факти (дані) і правила (способи подання знань). Механізм висновку містить: інтерпретатор, який визначає, як застосовувати правила для виводу нових знань, та диспетчерів, що встановлюють порядок застосування цих правил.

Експертна система містить три типи знань:

- а) структуровані знання про предметну ділянку - після того, як ці знання виявлені, вони не змінюються;
- б) структуровані динамічні знання - змінні знання з предметної ділянки, які обновляються по мірі виявлення нової інформації;
- в) робочі знання, які використовуються для розв'язування конкретної задачі або проведення консультації.

Всі перераховані знання зберігаються в базі знань. Для її побудови потрібно провести опит спеціалістів, які є експертами в конкретній предметній

ділянці, а потім систематизувати, організувати та індексувати отриману інформацію для простоти її використання.

Існує багато способів представлення знань в сучасних експертних системах. Найчастіше використовується такі три методи представлення знань: правила, семантичні сітки та фрейми.

Термін “фрейм” у 1975 році ввів М.Мінський, як визначення структури даних для представлення стереотипних ситуацій. В цьому випадку модель даних представляється комбінацією трьох компонентів:

- множини структур даних, об’єкти яких складають міститиме бази даних;
- множини операцій, які використовуються для пошуку та модифікації даних;
- множини обмежень цілісності, які явно чи неявно визначають множину допустимих станів елементів баз даних.

Представлення знань, що базується на правилах, побудовано на використанні виразу вигляду - “якщо“ (умова) - “тоді“ (дія). Якщо ситуація (факти) в задачі задовольняє правило “якщо“, тоді використовується дія, що визначається частиною “тоді“. Співставлення частин “якщо“ (правил з фактами) може утворити так званий ланцюжок виводу. Правила забезпечують природній спосіб опису процесів, що керуються складним і швидкозмінним середовищем. З допомогою правил можна визначити, як експертна система буде реагувати на зміну даних і при цьому не потрібно заздалегідь вказувати блок-схему управління обробкою даних.

В програмі традиційного типу передачі управління і використання ресурсів здійснюються послідовними кроками, а розгалуження має місце тільки в заздалегідь вибраних точках. Цей спосіб добре діє для проблем, які допускають алгоритмічні рішення. Для задач, хід розв’язування яких керується самими даними і де розгалуження швидше норма, ніж виняток, цей спосіб малоефективний. Використання правил спрощує пояснення дій експертної системи і дозволяє людині відслідкувати хід виводу. Можна розглядати фрейми і семантичні сітки, як методи представлення знань, що базуються на фреймах.

Таке представлення знань використовує сітку вузлів, що пов'язуються відношеннями і організуються ієрархічно. Кожен вузол представляє собою концепцію, яка може бути представлена атрибутами і значеннями, пов'язаними з цим вузлом. Вузли, які знаходяться на нижніх рівнях в ієрархії, автоматично наслідують властивості вузлів, що займають вище становище. Ці методи звичайно забезпечують ефективний шлях класифікації того чи іншого об'єкту (події).

Багато правил експертної системи є евристичними, тобто емпіричними правилами, або спрощеннями, які ефективно обмежують пошук рішення. Евристика - це сукупність логічних прийомів і методологічних правил теоретичного дослідження і пошуку істини, методика пошуку доведення. Евристичні правила - неформальні правила, які використовуються з метою підвищення ефективності пошуку в даній предметній ділянці. Такі підходи до розв'язування проблем швидше властиві людському мисленню "взагалі", для якого властива поява "догадки" про шлях їх вирішення з наступною перевіркою отриманого рішення. Евристичному методу протиставлявся алгоритмічний (процедурний) метод, більше характерний для комп'ютера, який інтерпретувався як механічне здійснення заданої послідовності кроків, яка однозначно приводила до розв'язку. Експертні системи використовують евристики через те, що поставлені задачі важкі і до кінця незрозумілі. Ці задачі не підлягають чіткому математичному аналізу або алгоритмічному рішенню. Алгоритмічний метод гарантує визначене коротке або оптимальне рішення задачі, тоді як евристичний метод дає прийнятне або раціональне рішення. Знання в експертних системах організовані таким чином, щоб знання про предметну ділянку відокремити від загальних (наприклад, як вирішувати задачу, або знання про те, як взаємодіяти з користувачем).

У системах, заснованих на концепції банку знань, реалізуються функції дедуктивного висновку - від узагальнених знань, що подаються в базі знань, здійснюється перехід до конкретних знань, що формуються для вирішення заданої практичної задачі.

Експертні системи використовуються для рішення так званих неформалізованих задач, загальним для яких є те, що:

- задачі не можуть бути задані в числовій формі;
- висновки не можна виразити в термінах точно визначеної цільової функції;
- не існує алгоритмічного розв'язку задачі;
- якщо алгоритмічний розв'язок є, то його не можна використовувати через обмеженості ресурсів (час, пам'ять).

Крім того неформалізовані задачі мають помилковість, неповноту, неоднозначністю і суперечливістю як вихідних даних, так і знань про розв'язувану задачу.

Для того, щоб експертна система могла управляти процесом пошуку рішення, була здатна набувати нових знань і пояснювати свої дії, вона повинна уміти не тільки використовувати свої знання, але і володіти здатністю розуміти і досліджувати їх, тобто експертна система повинна мати знання про те, як представлені її знання про проблемне середовище. Якщо знання про проблемне середовище назвати знаннями нульового рівня уявлення, то перший рівень уявлення містить метазнання, тобто знання про те, як представлені у внутрішньому світі системи знання нульового рівня. Перший рівень містить знання про те, які засоби використовуються для представлення знань нульового рівня. Знання першого рівня грають істотну роль при управлінні процесом рішення, при придбанні і поясненні дій системи. У зв'язку з тим, що знання першого рівня не містять посилань на знання нульового рівня, знання першого рівня незалежні від проблемного середовища.

Число рівнів уявлення може бути більше два. Другий Рівень уявлення містить зведення про знання першого рівня, тобто знання про уявлення базових понять першого рівня. Розділення знань по рівнях уявлення забезпечує розширення області застосовності системи.

Виділення рівнів детальної дозволяє розглядати знання з різним ступенем подробиці. Кількість рівнів детальної багато в чому визначається специфікою вирішуваних задач, об'ємом знань і способом їх уявлення. Як правило, виділяється не менше трьох рівнів детальної, що відображають відповідно загальну, логічну і фізичну організацію знань. Введення декількох рівнів детальної забезпечує додатковий ступінь гнучкості системи, оскільки дозволяє проводити зміни на одному рівні, не зачіпаючи інші. Зміни на одному рівні детальної можуть приводити до додаткових змін на цьому ж рівні, що виявляється необхідним для забезпечення узгодженості структур даних і програм. Проте наявність різних рівнів перешкоджає розповсюдженню змін з одного рівня на інших.

Робоча пам'ять (РП) експертних систем призначена для зберігання даних. Дані в робочій пам'яті можуть бути однорідні або розділяються на рівні по типах даних. У останньому випадку на кожному рівні робочої пам'яті зберігаються дані відповідного типу. Виділення рівнів ускладнює структуру експертної системи, але робить систему ефективнішою.

У сучасних експертних системах дані в робочій пам'яті розглядаються як ізольовані або як зв'язані. У першому випадку робоча пам'ять складається з безлічі простих елементів, а в другому - з одного або декількох (при декількох рівнях в РП) складних елементів (наприклад, об'єктів). При цьому складний елемент відповідає безлічі простих, об'єднаних в єдину суть. Теоретично обидва підходи забезпечують повноту, але використання ізольованих елементів в складних наочних областях приводить до втрати ефективності.

Дані в РП в простому випадку є константами і (або) змінними. При цьому змінні можуть трактуватися як характеристики деякого об'єкту, а константи - як значення відповідних характеристик. Якщо в РП потрібно

аналізувати одночасно декілька різних об'єктів, що описують поточну проблемну ситуацію, то необхідно указувати, до яких об'єктів відносяться дані характеристики. Одним із способів рішення цієї задачі є явна вказівка того, до якого об'єкту відноситься характеристика.

Якщо РП складається з складних елементів, то зв'язок між окремими об'єктами указується явно, наприклад завданням семантичних відносин. При цьому кожен об'єкт може мати свою внутрішню структуру. Необхідно відзначити, що для прискорення пошуку і зіставлення дані в РП можуть бути зв'язані не тільки логічно, але і асоціативно.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Методика діагностування дефектів

Визначення технічного стану агрегату по вібраційних параметрах виробляється як по змісту відповідної інформації в момент часу, так і на основі аналізу зміни її в часі.

Як діагностичні параметри використовуються різноманітні параметри вібрації (у тому числі і спектри вібрації), параметри випадкового процесу зміни вібрації, спеціальні функції параметрів вібрації (наприклад, напівсума і напіврізниця оборотної вібрації в двох обраних крапках, відношення деяких параметрів вібрації в різних напрямках). У ряді випадків необхідно вимірювати і враховувати невібраційні параметри, що впливають на вібрацію.

Кількісні і якісні характеристики значень діагностичних параметрів і їхніх змін, характерні для деякого дефекту, є ознаками цього дефекту. У дефекту може бути кілька ознак, а деяка ознака може бути загальним для групи різних по природі дефектів. Наприклад, наявність у спектрі вібрації деяких низькочастотних гармонік може бути ознакою і зачіпаннями ротора за статорні елементи, і субгармонійних коливань під дією дисбалансу, і недосконалості форми розточки підшипника ковзання. У сукупності ознак дефекту може не виявитися жодного, котрий сам по собі був би необхідним і (або) достатнім для діагностування.

У принципі можливо експериментальними і математичними методами одержати кількісні оцінки впливу будь-якого дефекту на діагностичні параметри для будь-яких умов, хоча це, як правило, зв'язано з великими труднощами і витратами. Однак така робота знецінюється тією обставиною, що



невловимі відмінності динамічних характеристик агрегату роблять на ці оцінки вирішальний вплив. Різні експерти оцінюють максимально можливі відмінності значень впливу заданих дефектів на вібраційні параметри однотипних машин у межах від 10 до 1000 разів. Найбільші відмінності відносяться до високочастотних складових спектра вібрації.

При всіх описаних складностях всебічний облік експериментальних даних, математичних і експериментальних оцінок роблять задачу вібродіагностики в більшості випадків розв'язною.

Для підвищення вірогідності діагнозу з урахуванням приведених розумінь доцільно: повне використання усіх відомих ознак дефектів, імовірністю яких не можна зневажити за результатами аналізу діагностичних параметрів, що спостерігаються.

## **2.2 Умови визначення нормального стану агрегату**

Стан агрегату визначається як нормальний при одночасному виконанні наступних умов:

- інтенсивність вібрації в контрольованих точках відповідає стандартним нормам;
- діагностичні параметри знаходяться в межах, що відповідають заданому режиму роботи агрегату;
- на стаціонарному режимі спостерігається стаціонарна вібрація: параметри її мінливості не виходять за межі, характерні для заданого режиму;
- відсутні істотні раптові зміни вібрації;
- відсутній істотний монотонний ріст вібрації в часі (тренд);

- відсутня істотна низькочастотна вібрація;
- відсутні істотні зміни спектрального складу вібрації.

Кількісні оцінки (еталони якості) для визначення виконання цих умов визначаються нормативними документами, результатами статистичної обробки даних вібровимірювань (архівних) і експертними оцінками.

Приведена технологія визначення нормального стану власне кажучи є процедурою, що у технічній діагностиці називається сигнатурним аналізом. Сигнатура – стандартний, відповідаючий нормальному стану агрегату набір значень контрольованих параметрів вібрації, включаючи параметри спектра вібрації. Сигнатура визначається статистичними методами на основі вібровимірювань при різних режимах протягом достатнього часу адаптації системи вібродіагностики. Для кожного характерного режиму агрегату може бути визначена відповідна сигнатура. Істотні, статистично достовірні зміни сигнатури – свідчення появи ненормальності.

### **2.3 Класифікація діагностичних параметрів вібрації**

Для кожного епізоду, при якому порушуються критерії нормального стану агрегату, у зв'язку з необхідністю діагностування виникає задача вибору діагностичних параметрів з доступної безлічі даних. Насамперед, варто вибрати точки, у яких параметри вібрації не відповідають еталонам якості. Для цих точок виділяються ті гармонійні складові, котрі вносять найбільший вклад у порушення еталона якості. Параметри цих складових і їхні функції є основними діагностичними параметрами, по яких визначають групу можливих причин вібрації. Інші параметри використовуються для уточнення діагнозу.

Розділимо спектр вібрації на чотири зони: оборотна вібрація, низькочастотна вібрація, подвійна оборотна вібрація і високочастотна вібрація.

Оборотні і подвійна оборотна вібрації є синхронними: точно визначені їхні частоти ( $f_0$  і  $2f_0$ ) і можуть бути визначені фази.

Низькочастотна вібрація (НЧВ) частіше має половинну оборотну частоту ( $f/2$ ), іноді частоту  $f_0/3$ , і є при цьому синхронною. Нерідко спостерігаються несинхронні (некратні) частоти НЧВ, що звичайно мають частоту власних коливань ротора.

Високочастотні складові звичайно мають багатий спектр.

Для великих енергетичних турбоагрегатів у першому наближенні важливо знати не дискретні складового високочастотного спектра, а загальний внесок високочастотних складових в інтенсивність вібрації. Для даного випадку діагностичним параметром є середньоквадратичне значення вібрації для всіх гармонік вище  $2f_0$ .

У якості діагностичних, крім параметрів спектра, використовуються інші параметри вібраційного процесу, що відповідають потребам конкретних діагностичних алгоритмів, що одержують шляхом спеціальної обчислювальної обробки вібраційних сигналів.

## **2.4 Оцінка стану ГПА за параметрами вібрації**

Сучасні тенденції розвитку компресоробудування свідчать про все частіше застосування систем контролю технічного стану в процесі експлуатації. Це є єдиним способом забезпечення безвідмовної роботи машини і підвищення надійності на експлуатаційному рівні.

Однією з характерних особливостей діагностування поршневих машин є те, що коливання, що виявляються унаслідок несправностей, накладаються на

загальний вібраційний стан від невірноваженості мас. Це приводить до необхідності розгляду двох підходів:

а) аналіз коливань компресора як єдиного цілого, що виникають від його невірноваженості;

б) аналіз вібрації вузлів компресора, що виникає від дефектів.

Для кожного з цих підходів розробляється своя математична модель роботи об'єкту. Причому для аналізу невірноваженості, важливе значення надає конструкція компресора. Дослідження вібраційного стану проводили на різних типах компресорів з різним числом і схемою розташування циліндрів, потужністю приводу, швидкістю обертання коленвала. Схема компресора з контрольними точками (КТ) вимірювання вібрації показана на рис.2.1.

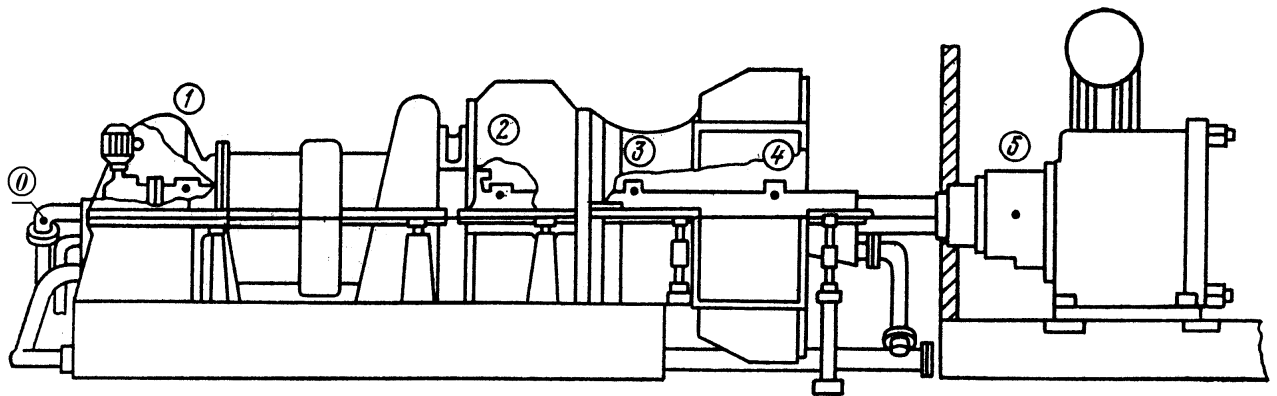


Рисунок 2.1 – Схема компресора з контрольними точками вимірювання вібрації.

№0 – контрольна точка – маселопровід.

№1 – контрольна точка - місце установки 1-го опорного підшипника.

№2 – контрольна точка – місце установки 2-го опорного підшипника.

№3 – контрольна точка – ТНТ 3-й підшипник.

№4 – контрольна точка – опорний 4-й підшипник.

Розрахунок амплітуд коливань різних точок станини необхідно проводити з урахуванням власних частот, характеристик жорсткості і геометричних параметрів фундаменту, а також властивостей ґрунту.

Іншою особливістю поршневих машин є функціонування вузлів механізму руху в умовах навантажень, що циклічно змінюються. Це приводить до появи в них ударів. Розрахунок швидкості зіткнення і часу появи ударних імпульсів для кожного сполучення дозволяє виділити їх у віброакустичному сигналі. В результаті було поставлено завдання динамічного аналізу механізму руху поршневого компресора з урахуванням зазорів в рухомих з'єднаннях.

Дослідженням динаміки механізмів із зазорами займалися багато учених в другій половині ХХ століття. Проте реалізовані в них методи досліджень не дозволяють повністю описати динаміку для всіх видів руху ланок (контактного і вільного прольоту деталей до зіткнення). Тому задача була вирішена за допомогою рівнянь Лагранжа II роду з множниками:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j + Q_j^R,$$

$$Q_j^R = \sum_{a=1}^s \lambda_a \frac{\partial f_a}{\partial q_j},$$
(2.1)

де  $j=1,2,\dots,r$ ;  $\lambda_a$  - множник, що характеризує реакцію зв'язку  $a$ ;  $T$  - кінетична енергія механічної системи (механізму руху компресора),  $Q_j^R$  і  $Q_j$  - відповідно узагальнена реактивна і активна сили;  $f_a$  - рівняння зв'язку  $a$  контактного руху деталей;  $r$  - число узагальнених координат.

При цьому як узагальнені координати  $q_j$  розглядався відносний рух деталей сполучень в поле зазору і кут повороту коленвала. Зазори враховувалися у вузлах "поршень-циліндр", "черевик що крейцкопфа-направляє", а також в крейцкопфном і шатуновому підшипниках ковзання. Введення в рівняння руху реактивної складової  $Q_j^R$  дозволило описати весь цикл віброударного режиму роботи механізму за допомогою одних і тих же залежностей.

Для виділення інформативних діагностичних ознак в амплітудному спектрі, за наслідками моделювання, був визначений спектр сили зіткнення:

$$F(k) = \frac{2\tau p_{\max} T}{\pi} \cdot \frac{\cos\left(\frac{k\pi\tau}{T}\right)}{T^2 - 4k^2\tau^2},$$

$$(k=0,1,2,\dots,\infty), \quad (2.2)$$

де  $T$  - період проходження удару;  $p_{\max}$  - максимальна сила удару;  $\tau$  - час зіткнення;  $k$  - номер гармоніки.

Перехід від номера гармонійної складової до частоти здійснюється по формулі:

$\omega = k/T$  (Гц). Частота проходження і амплітуда ударних імпульсів є важливими діагностичними ознаками поршневих машин. Використовуючи вищезгадану модель динаміки, де як початкові дані виступають величини зазорів у вузлах механізму руху, стає можливим визначити послідовність ударних імпульсів в часі протягом всього циклу роботи компресора. Це стає ще актуальнішим, якщо взяти до уваги той факт, що не завжди збільшення зазору в досліджуваному сполученні приводить тільки до підвищення амплітуди вібрації. Може відбутися зміна кількості ударів і їх сумарного імпульсу за цикл. Тобто залежність швидкості удару від величини зазору не є лінійною, оскільки на динамічні параметри впливає співвідношення зазорів у всіх сполученнях механізму руху. Більшою мірою це стосується підшипників, і в меншій, - поступальних вузлів. Таким чином, спектр вібрації не є достатнім засобом рішення задачі діагностування стану зносу рухомих з'єднань поршневих компресорів.

Виділення ударних імпульсів в часі ефективно проводити за допомогою аналізу огинаючої вібросигнала. Цей метод базується на тому, що періодична послідовність ударних імпульсів, збудлива в тому або іншому ступені весь спектр власних частот механізму виявляється у високочастотній області у вигляді амплітудної модуляції вібраційного процесу. Смугова фільтрація високочастотного сигналу з подальшим перетворенням Гельберта (або детектуванням) дозволяє по частоті проходження удару і часу його появи локалізувати дефектний вузол.

Обстеження решти трьох позицій компресорів на заводі показало, що спектр огинаючої вібрації підшипникових вузлів, хорошим технічним станом, що характеризується, має вид широкосмугового шуму, без прояву яких-небудь гармонік. При незадовільному стані вкладишів, вібросигнал і спектр огинає відрізняється періодичністю і наявністю гармонік з амплітудою вібрації при збільшенні частоти, що поволі зменшується. В першу чергу, це викликано ударами. Крім того, різниця амплітуди вібрації на гармоніці і шуму також може служити діагностичною ознакою. Так, різниця в 20-30 дБ вже є високим значенням і сигналізує про необхідність ремонту.

У крейцкопфному вузлі і циліндро-поршневій групі, де удари неминуче виявляються в мертвих положеннях механізму, по амплітуді вібрації з використанням розробленої математичної моделі, були оцінені величини зазорів в цих вузлах. При розбиранні машини, теоретичні припущення підтвердилися.

Таким чином, діагностування поршневих компресорів по вібраційних параметрах необхідно проводити з одночасним аналізом тимчасової реалізації вібросигнала, що її огинає, спектральних характеристик і статистичних функцій.

Моделювання динаміки механізму руху компресора з урахуванням зазорів дозволяє визначити силові параметри у вузлах, необхідні для проведення розрахунку на статичну і втомну міцність. Проте як показали теоретичні дослідження, це справедливо лише в першому наближенні. Максимальні значення сил в моменти ударів можуть перевищувати відповідні значення реакцій в механізмі без урахування зазорів більш, ніж в 2 рази. Окрім внесення поправки до розрахунків, цей факт необхідно враховувати і при визначенні ресурсу. Не дивлячись на те, що амплітудне значення коливань напруги ВЧ циклу менше, ніж НЧ, число їх знакозмінних циклів від впливу зазорів набагато більше. Це може привести до швидшого накопичення втомних тріщин в навантажених деталях і, як наслідок, до зменшення ресурсу.

Інформація, отримана при технічному діагностуванні компресора, дозволяє провести прогнозування його технічного стану по визначальних параметрах до досягнення граничного стану. Використання розробленої математичної моделі сприяють точнішому визначенню залишкового ресурсу всіх деталей і вузлів машини.

Розповсюдження встановленого взаємозв'язку технічного стану окремих вузлів з віброхарактеристиками на різні типи компресорів надалі дозволить провести нормування рівнів вібрації на окремих гармоніках, а також сформулювати логічну модель діагностичних ознак для її використання в експертних системах. Крім того, в даний час ведеться робота із створення математичної моделі прогнозування комплексу динамічних, прочних і трібологічних характеристик. При цьому розрахунку піддаються ударні параметри, силові взаємодії деталей, механічна напруга і знос поверхонь тертя, отриманих залежно від заданого напрацювання об'єкту в конкретних умовах експлуатації.

Дефект 1:

Точка вимірювання:

Підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти.

Вібраційні ознаки:

2-а і 3-а гармоніки частоти обертання ( $f_n$ ), найчіткіше виявляються в осьовому напрямі (рис.2.2).

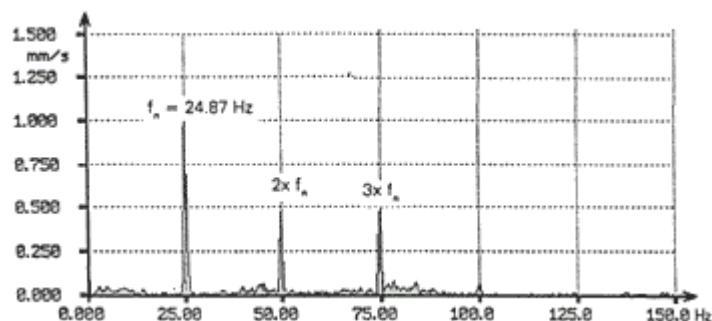


Рисунок 2.2 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:



Розцентровка валів компресора і електродвигуна.

Проведені заходи щодо усунення:

Проведена підцентрівка за допомогою лазерного приладу OPTALIGN, особлива увага була приділена усуненню впливу на показники розцентровки змін температурного режиму агрегату.

Дефект 2:

Точка вимірювання:

Підшипникова стійка вентилятора з боку муфти.

Вібраційні ознаки:

Переважають гармонік 1-ої і, особливо, 2-ої частоти обертання ( $f_n$ ) (рис.2.3).

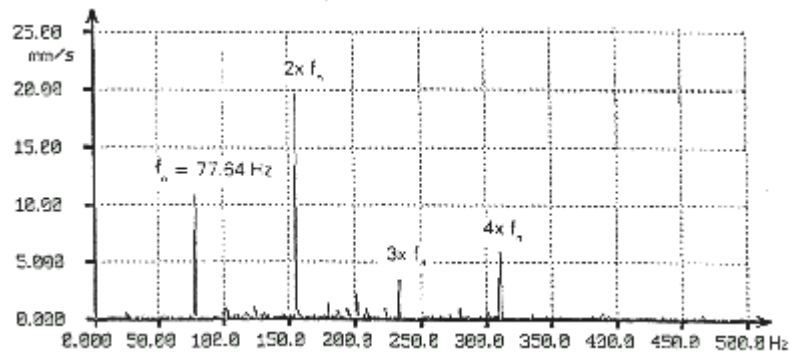


Рисунок 2.3 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Розцентровка між валами вентилятора і редуктора.

Проведені заходи щодо усунення:

Проведена підцентрівка за допомогою лазерного приладу OPTALIGN, особлива увага була приділена усуненню зсуву валів (з урахуванням впливу на показники розцентровки змін температурного режиму і динамічного прогинання валу вентилятора).

Дефект 3:

Точка вимірювання:

Підшипникова стійка вентилятора з боку муфти.

Вібраційні ознаки:

Ряд роторних гармонік частоти обертання ( $f_n$ ) аж до 11-ої кратності (рис.2.4).

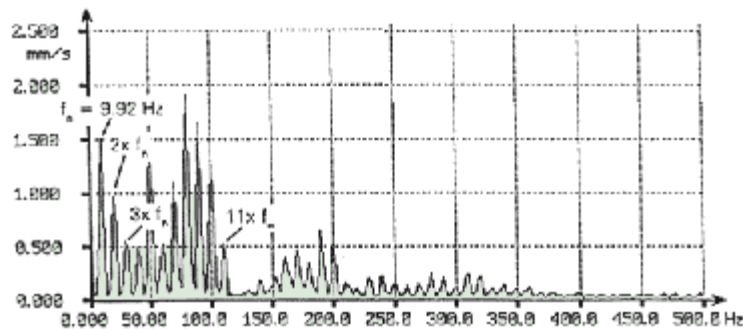


Рисунок 2.4 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Радіальне прогинання валу нагнітаючого вентилятора (вигин валу). Із-за тертя в муфті, що сполучає вали вентилятора і електродвигуна виникає процес валу в підшипнику (періодичне, з частотою обертання, зміна центру тяжіння валу щодо центру підшипника в межах зазору в підшипника).

Проведені заходи щодо усунення:

Проведена заміна валу вентилятора.

Дефект 4:

Точка вимірювання:

Підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти.

Вібраційні ознаки:

Дуже висока осьова вібрація підшипникової стійки електродвигуна з боку проміжного валу, в спектрі домінує 1-а гармоніка ( $f_n$ ). Осьова вібрація правого підшипника проміжного валу визначає високу осьову вібрацію підшипника електродвигуна з боку проміжного валу (рис.2.5).

Механічна причина:

Розцентровка валів редуктора і проміжного валу, проміжний вал визначає вібрацію електродвигуна.

Проведені заходи щодо усунення:

Проведена підцентрівка за допомогою лазерного приладу OPTALIGN. Спочатку центрувалися вали редуктора і проміжного валу, потім - електродвигуна і проміжного валу.

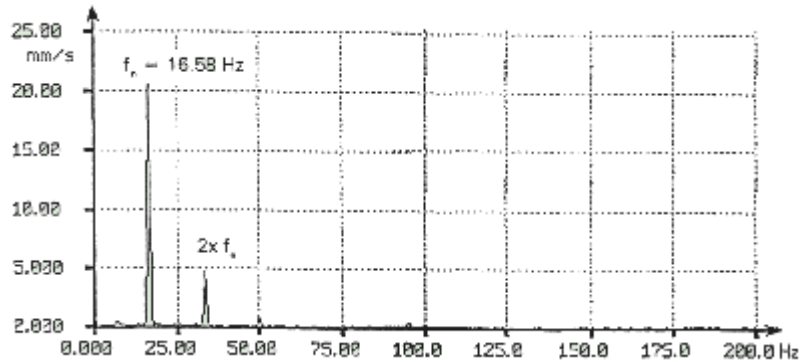


Рисунок 2.5 – Спектр віброшвидкості.

Дефект 5:

Точка вимірювання:

Підшипникова стійка вентилятора з боку муфти.

Вібраційні ознаки:

Переважають гармоніки 1-ої гармоніки частоти обертання ( $f_n$ ) і видимі вищі гармоніки  $f_n$ , аж до 10-ої кратності (рис.2.6).

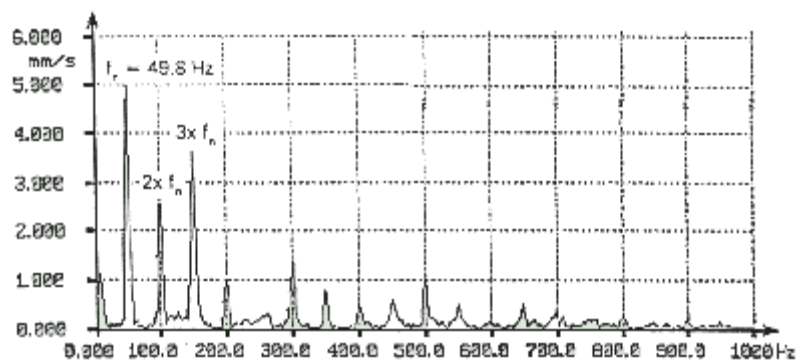


Рисунок 2.6 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Радіальне прогинання (вигин) валу вентилятора.

Проведені заходи щодо усунення:

Заміна валу вентилятора.

Дефект 6:

Точка вимірювання:

Підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти.

Вібраційні ознаки:

Високий рівень 2-ої гармоніки ( $f_n$ ) (рис.2.7).

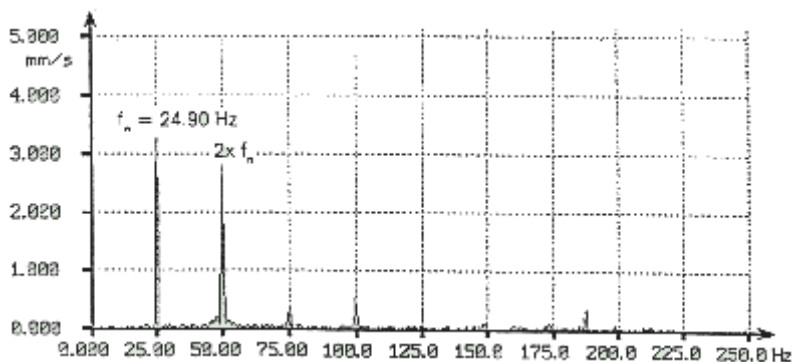


Рисунок 2.7 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Розцентровка валів редуктора і електродвигуна. Превалює радіальний зсув валів, цим і визначається високий рівень 2-ої гармоніки в поперечному напрямі.

Проведені заходи щодо усунення:

Проведена підцентрівка за допомогою лазерного приладу OPTALIGN.

Дефект 7:

Точка вимірювання:

Підшипникова стійка вентилятора з боку вільного кінця.

Вібраційні ознаки:

Гармоніки 1-ої і 2-ої кратностей частоти перекочування по внутрішньому кільцю ( $f_i$ ) мають значущий рівень в спектрі огинаючої. Бічні смуги навколо ( $f_i$ ) з кроком, рівним ( $f_n$ ) [ $(f_i - f_n)$  і  $(f_i + f_n)$ ] (рис.2.8).

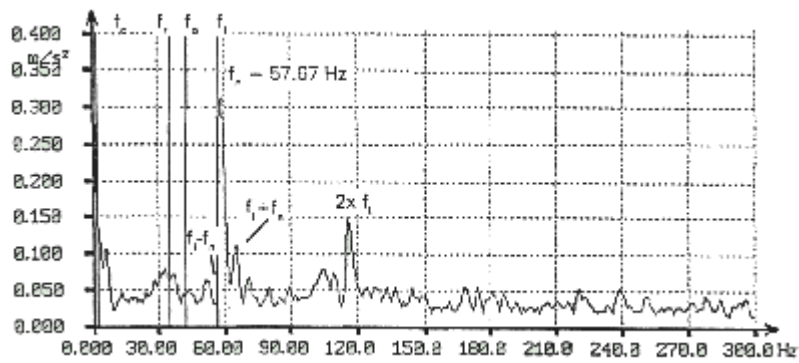


Рисунок 2.8 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Розвинений дефект (руйнування доріжки) внутрішнього кільця підшипника. Бічні полоси виникають, коли тіла кочення прокатуються по дефектах, при цьому зона максимального навантаження на тіла кочення то співпадає, то не співпадає з місцем розташування дефектів.

Проведені заходи щодо усунення:

Проведена заміна підшипника.

Дефект 8:

Точка вимірювання:

Підшипник вентилятора з боку приводу.

Вібраційні ознаки:

Гармоніки 1-ої, 2-ої, 3-ої і 4-ої кратності від частоти перекочування по зовнішньому кільцю ( $f_o$ ), що характеризують його руйнування (рис.2.9).

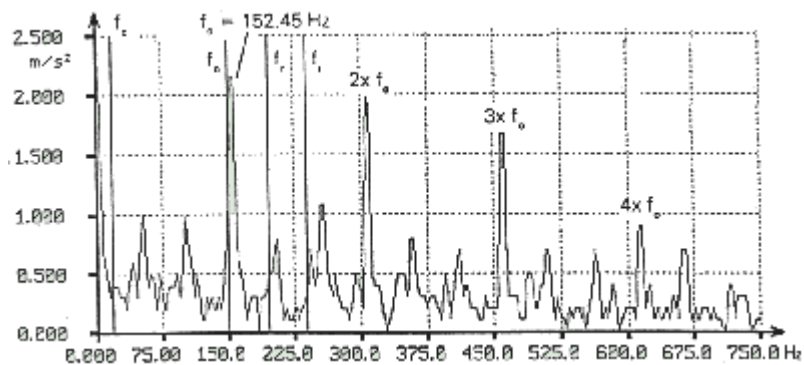


Рисунок 2.9 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Серйозне пошкодження зовнішньої доріжки кочення підшипника. Значущий рівень гармонік, кратних частоті  $f_0$  відповідає ряду серйозних дефектів на зовнішній доріжці кочення.

Проведені заходи щодо усунення:

Заміна підшипника.

Дефект 9:

Точка вимірювання:

Підшипник вентилятора з боку приводу.

Вібраційні ознаки:

Гармоніки 1-ої, 2-ої, 3-ої, 4-ої і 5-ої кратності від частоти обертання ( $f_n$ ), максимальний рівень має 4-а гармоніка. Бічні смуги навколо вказаних роторних гармонік(рис.2.10).

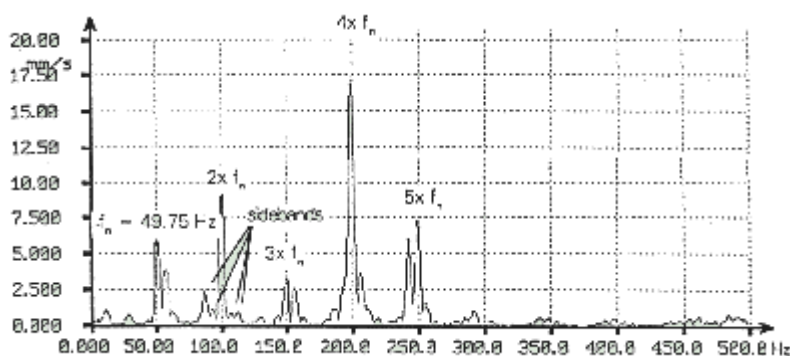


Рисунок 2.10 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Надмірний знос зовнішньої доріжки кочення і, як результат, розштаність підшипника з боку приводу, яка привела до нестабільності обертання валу вентилятора і гармонік, кратних ( $f_n$ ).

Бічні смуги можливо відповідають резонансній частоті підшипника, яка виявляється в результаті "розштаності" підшипника.

Переважання 4-ої гармоніки ( $f_n$ ) пов'язане з резонансом з частотою обертання тіл кочення -  $f_r$ .

Проведені заходи щодо усунення:

Заміна підшипника (можливо слід було замінити і корпус підшипника).

Крім того, необхідно перевірити фіксацію підшипника.

Дефект 10:

Точка вимірювання:

Підшипник з боку вільного кінця дробарки.

Вібраційні ознаки:

Дуже високий рівень 1-ої гармоніки частоти обертання ( $f_n$ ) (рис.2.11).

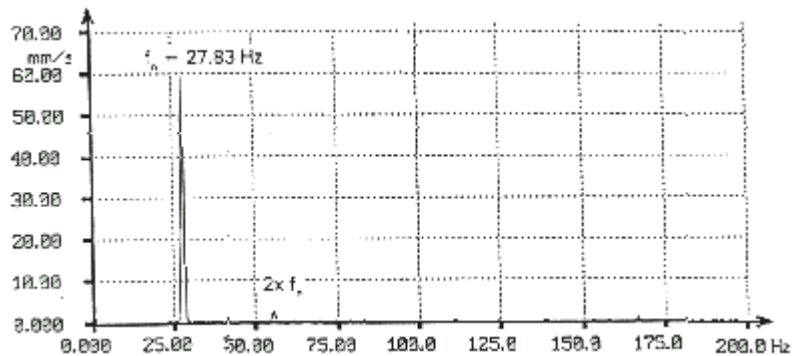


Рисунок 2.11 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Центр тяжіння ротора дробарки зміщений щодо його геометричного центру, внаслідок чого виникає сильний дисбаланс, який і виявляється на частоті ( $f_n$ ).

Проведені заходи щодо усунення:

Проведено балансування ротора дробарки.

Дефект 11:

Точка вимірювання:

Підшипник електродвигуна з боку приводу.

Вібраційні ознаки:

Дуже високий рівень поперечної вібрації на підшипнику електродвигуна на частоті обертання вентилятора ( $f_f$ ) (рис.2.12).

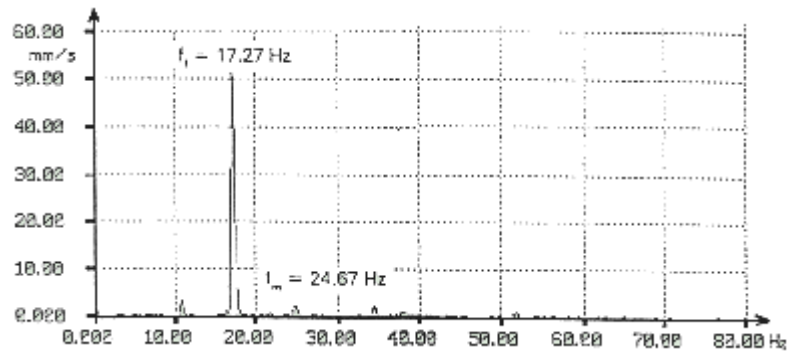


Рисунок 2.12 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Частота обертання вентилятора характеризує ексцентриситет ремінного шківа вентилятора. Оскільки підвіска електродвигуна відносно піддатлива, двигун після включення здійснює поворотно-поступальні і поперечні коливання на частоті вентилятора.

Проведені заходи щодо усунення:

Заміна шківа вентилятора.

Дефект 12:

Точка вимірювання:

Підшипник електродвигуна з боку компресора.

Вібраційні ознаки:

Гармоніки ( $f_n$ ) від 1-ої до 6-ої кратності. 2-а гармоніка ( $f_n$ ) розташована близько від 2-ої гармоніки 50 Гц, мережі змінного струму. 2-а гармоніка ( $f_n$ ) має дуже маленький рівень в спектрі вібрації в порівнянні з 2-ою гармонікою мережі (рис.2.13).

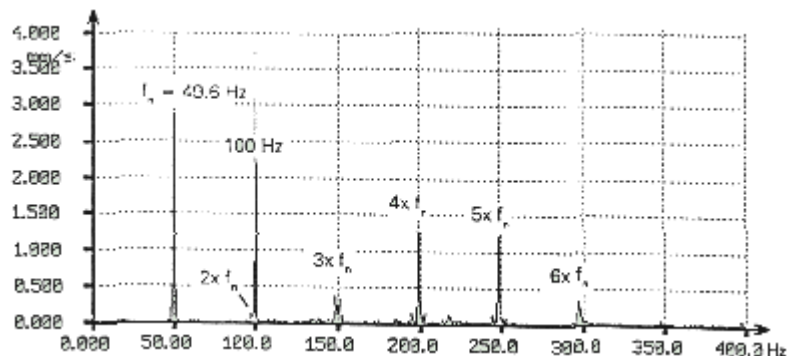


Рисунок 2.13 – Спектр віброшвидкості.



Механічна причина:

Дисбаланс ротора електродвигуна приводить до вібрації на частоті ( $f_n$ ). Гармоніка є результатом асиметрії магнітного поля електродвигуна, це може бути причиною асиметрії електричного поля, але, в даному випадку, статор електродвигуна був пошкоджений в результаті викривлення опорних пластин. Наявність в спектрі гармонік 3-ої...6-ї кратностей від ( $f_n$ ) є наслідком поганого кріплення агрегату в цілому на опорних пластинах (ослаблення кріпильних болтів, викривлення (деформація) пластин).

Розцентровка валів не достатнє сильна, щоб генерувати високу 2-у гармоніку ( $f_n$ ), крім того гумові прокладки під опорними лапами достатньо сильно демпфують вібрацію.

Проведені заходи щодо усунення:

Перемонтаж агрегату щодо опорних пластин. Балансування ротора електродвигуна, нова центрівка.

Дефект 13:

Точка вимірювання:

Підшипник електродвигуна з боку насоса.

Вібраційні ознаки:

Дуже високий рівень осьової вібрації підшипника електродвигуна. У спектрі домінує гармоніка її 2-а і 3-а гармоніки, навколо яких як бічні смуги розміщені гармоніки  $f_n$ (рис.2.14).

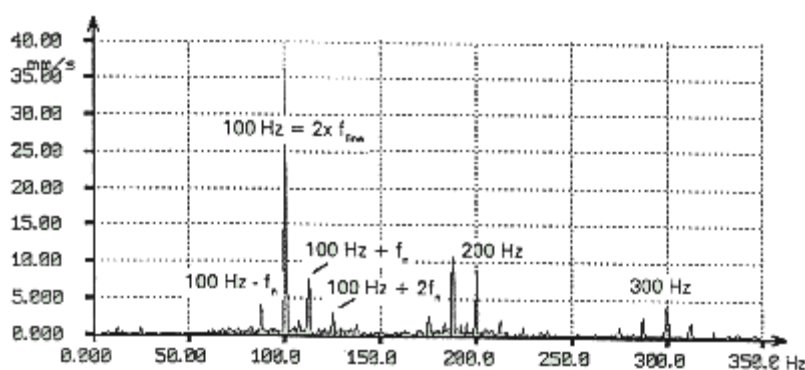


Рисунок 2.14 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Осьова асиметрія магнітного поля електродвигуна, тобто ротор зміщений щодо статора в осьовому напрямі. Внаслідок чого магнітне поле статора прагне втягнути ротор в центр поля, і, як наслідок, виникає висока осьова вібрація.

Проведені заходи щодо усунення:

Осьове центрування полів ротора і статора.

Дефект 14:

Точка вимірювання:

Корпус редуктора, осьовий напрям, проти несучого валу діамантового круга.

Вібраційні ознаки:

В спектрі домінують 3-а і 4-а гармоніка частоти зчеплення ( $f_f$ ). Бічні гармоніки навколо 3-ої і 4-ої гармонік ( $f_f$ ) з кроком, рівним частоті обертання ротора ( $f_1$ ) (рис.2.15).

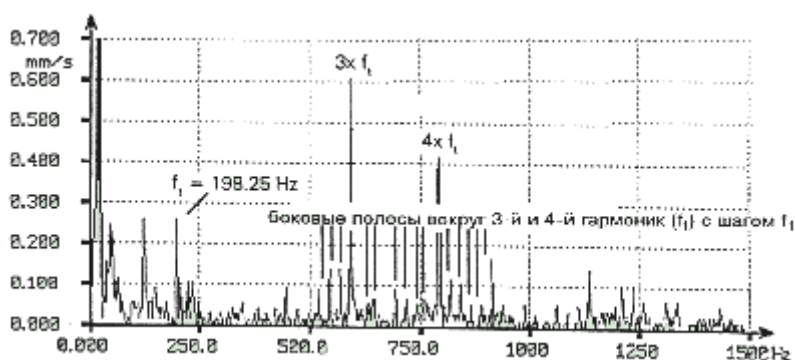


Рисунок 2.15 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Похибка бічного зазору зчеплення, унаслідок неточності осьового регулювання положення валів, дає прояв на частотах 3-ої і 4-ої гармонік частоти зачеплення ( $f_f$ ). Бічні смуги виникають внаслідок руйнування 2-х зубів провідної шестерні (вибоїна 7 мм в діаметрі на бічній поверхні одного зуба і

вибоїна 5 мм на вершині іншого зуба), яке веде до локального перерозподілу навантаження унаслідок похибки зчеплення.

Проведені заходи щодо усунення:

Заміна провідної шестерні і регулювання бічного зазору зчеплення.

Дефект 15:

Точка вимірювання:

Корпус підшипника провідного валу з боку вільного кінця.

Вібраційні ознаки:

При нормальному обертанні виявляється 3-а гармоніка частоти зачеплення ( $f_f$ ), а також підвищення рівня(рис.2.16).

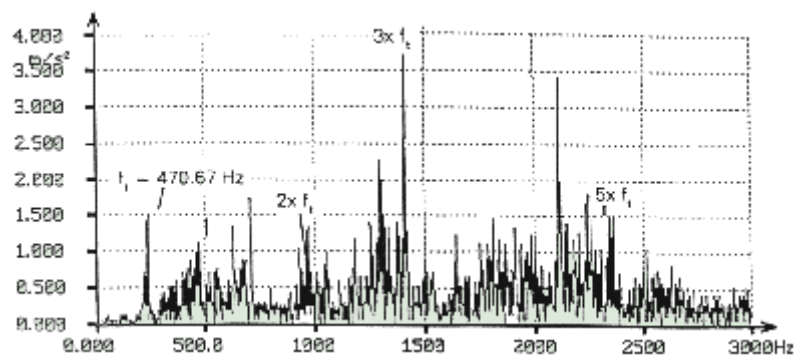


Рисунок 2.16 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Односторонній знос кромки зубів з боку нормального обертання.

Проведені заходи щодо усунення:

Заміна зношеної шестерні.

Дефект 16:

Точка вимірювання:

Корпус підшипника вентилятора з боку редуктора.

Вібраційні ознаки:

Гармоніки 1-й і 2-й кратностей на частоті обертання вентилятора  $f_f$  1-а і 2-а гармоніки  $f_{t1}$ . Бічні гармоніки навколо частоти  $f_{t2}$  з кроком, рівним частоті обертання паливного насоса 2. Додатковий пік з бічними гармоніками, що мають крок, рівний частоті обертання вентилятора  $f_f$  (рис.2.17).

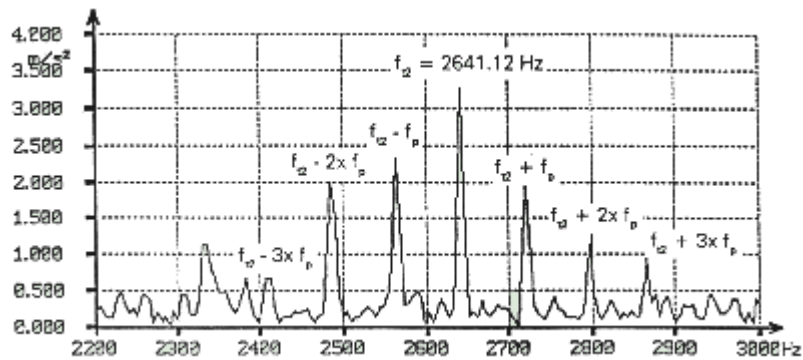


Рисунок 2.17 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Гармоніка на частоті  $2 \cdot f_{12}$  пов'язана з пошкодженням зубів приводних шестерень паливних насосів. Бічні гармоніки  $f_p \cdot N$  навколо  $f_{12}$  пов'язані з ексцентриситетом веденої шестерні одного з паливних насосів. Також ці бічні гармоніки пов'язані з резонансним збудженням частотою обертання вентилятора  $f_f$ , особливо 2-ою його гармонікою (розцентровка валів), оскільки частота обертання вентилятора і частота обертання паливних насосів дуже близькі. Частота "механічної обробки" (machine frequency) пов'язана з похибками виготовлення планетарної передачі.

Проведені заходи щодо усунення:

Підцентрівка валів. Регулювання бічних зазорів зачеплення паливних насосів. Можливо навіть слід змінити частоту обертання паливних насосів.

Дефект 17:

Точка вимірювання:

Корпус підшипника вентилятора з боку редуктора.

Вібраційні ознаки:

Дуже високий рівень віброшвидкості, який не пов'язаний ні з однією з частот зачеплення або їх гармоніками (рис.2.18).

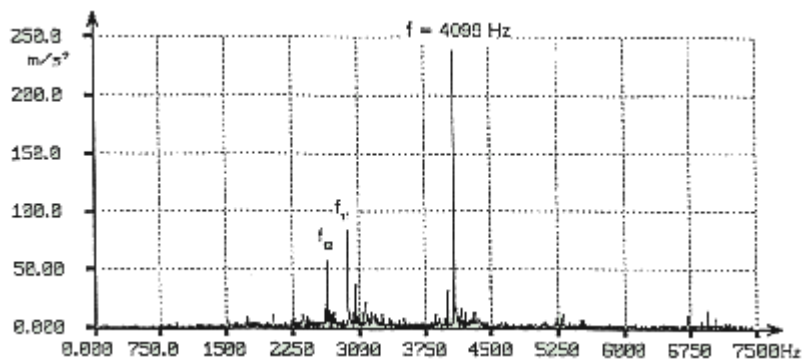


Рисунок 2.18 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Частоти зчеплення завжди в тому або іншому ступені присутні в спектрі вібрації зубчатої передачі. Частота "механічної обробки" ( $f_M$ ), пов'язана з похибками черв'ячної фрези, використовуваної для остаточної обробки внутрішніх зубів провідної шестерні редуктора. Такі дефекти виникають при нарізці зубів і пов'язані з похибками кроку зуборізних фрез. Вони виявляються в спектрах вібрації у вигляді зубцових частот зуборізних фрез, коли виготовлена шестерня встановлена в редуктор і знаходиться в навантаженому стані в процесі роботи. В даному випадку цей дефект пов'язаний з виготовленням провідної шестерні редуктора, для виготовлення якої використовувалася фреза, яка має 166 зубів.

Проведені заходи щодо усунення:

Перенарізка внутрішніх зубів провідної шестерні планетарного редуктора з використанням точнішого зуборізного верстата.

Дефект 18:

Точка вимірювання:

Підшипник приводного валу коробки передач.

Вібраційні ознаки:

Дуже високий рівень віброшвидкості на частоті ( $f_M$ ) її 2-ої і 3-ої гармонік. Ці частоти не пов'язані ні з однією з частот зачеплення коробки передач або їх гармоніками. Бічні гармоніки навколо вказаних частот з кроком, рівним частоті обертання провідного валу  $f_{n1}$  (рис.2.19).

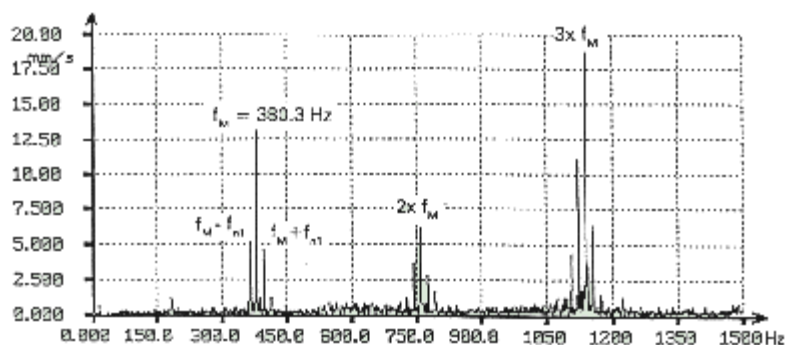


Рисунок 2.19 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

$f_M$  є частотою "механічної обробки" обох шестерень 1-го ступеня провідного валу. Бічні гармоніки є наслідком ексцентриситету однієї з шестерень 1-го ступеня провідного валу, це також виходить з розгляду тимчасового процесу.

Проведені заходи щодо усунення:

Перенарізка зубів шестерень 1-го ступеня провідного валу. Перевірка і усунення ексцентриситету шестерень 1-го ступеня.

Дефект 19:

Точка вимірювання:

Підшипник компресора з боку приводу.

Вібраційні ознаки:

Порівняно високий рівень гармоніки лопатки компресора  $f_b$ . Крім того, бічні гармоніки з кроком рівним частоті обертання валу  $f_n$  (рис.2.20).

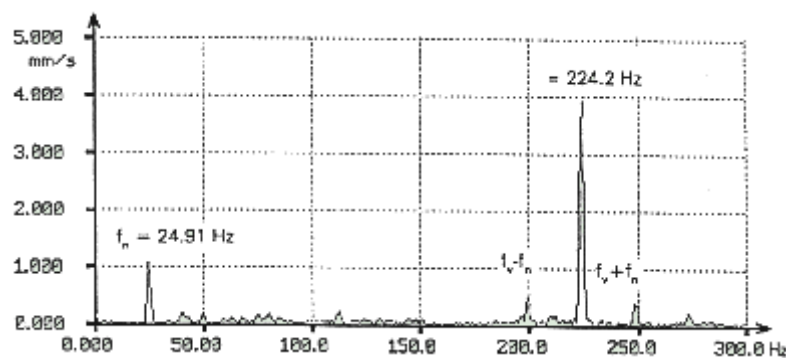


Рисунок 2.20 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Високий рівень гармоніки лопатки пов'язаний з турбулентністю в робочому тракті компресора і з проблемами динаміки робочого тіла, що протікає через компресор, із-за додаткових перешкод на вході в робоче колесо компресора. Такі явища супроводжуються зривним обтіканням робочих лопаток. В цьому випадку характер взаємодії потоку і робочих лопаток стає ударним, що приводить до появи гармонік з частотою "проходження" лопаток (гармонікам лопаток). Частота гармонік лопаток визначається як:  $f_b = n * f_n$ ;  $n$  - число лопаток  $f_n$  - частота обертання. При збігу числа лопаток і числа джерел зриву потоку на діаметрі робочого колеса компресора спостерігається явище так званого параметричного резонансу потоку. Бічні гармоніки є наслідком радіальної і осьової взаємодії потоку в ступенях робочого колеса компресора.

Проведені заходи щодо усунення:

Локалізація і усунення джерел турбулентності потоку на вході в компресор. Коректування збірки ротора компресора в частині правильнішої центрівки ступіней щодо один одного.

Дефект 20:

Точка вимірювання:

Підшипник дробарки з боку вільного кінця.

Вібраційні ознаки:

Амплітуда вібрації різко зростає (рис.2.21).



Рисунок 2.21 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Експериментальний ротор дробарки мав декілька менший діаметр, що привело до зниження 1-ої критичної швидкості ротора, яка потрапила в робочий частотний діапазон. Це і привело до стрибка рівня вібрації саме починаючи з вказаної частоти.

Проведені заходи щодо усунення:

Проведення балансування ротора на вищих частотах обертання, установка жорсткішого ротора, для того, щоб зрушити його критичну частоту в більш високочастотну область, за рамки робочого частотного діапазону.

Дефект 21:

Точка вимірювання:

Корпус редуктора.

Вібраційні ознаки:

Різде збільшення вібрації на частоті  $f_2$  (рис.2.22)

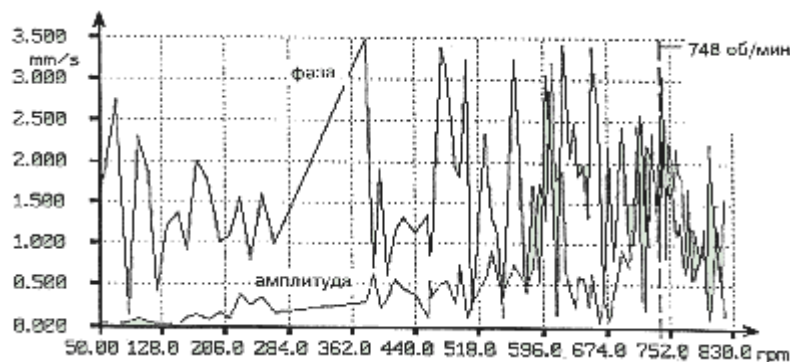


Рисунок 2.22 – Спектр віброшвидкості.

Механічна причина:

Номінальна частота обертання диска розташована якраз в діапазоні резонансу ротора (критичної частоти обертання). Це приводить до збільшення вібраційного навантаження на діамантовий круг і істотно збільшує швидкість його зносу.

Проведені заходи щодо усунення:

Зміна робочої частоти обертання за допомогою зміни частоти обертання електродвигуна для уникнення роботи в області резонансу ротора, або використання передачі з іншим передавальним відношенням (відношення 20:40



дуже велике) для зміни робочої частоти обертання в більш високочастотну область.

## 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Реалізація та проектування експертних систем

Експертні системи можуть використовуватися для:

- інтерпретації;
- діагностики;
- моніторингу;
- передбачення;
- планування;
- проектування.

Експертні системи можна використовувати в прогнозування, планування, контролі, управлінні та навчанні. Наприклад, експертні системи вже застосовуються в банківській справі в таких напрямках:

- програмах аналізу інвестиційних проектів;
- програмах аналізу стану валютного, грошового та фондового ринку;
- програмах аналізу кредитоспроможності чи фінансового стану підприємств і банків.

Процес створення експертних систем значно змінився за останні роки. Завдяки появі спеціальних інструментальних засобів побудови експертних систем значно скоротились терміни та зменшилась трудомісткість їх розробки. Інструментальні засоби, що використовуються при створенні експертних систем, можна розбити на три класи:

- мови програмування, орієнтовані на створення експертних систем (Ліпс, Пролог, Smalltalk, FRL, Interlisp та такі загальнозживані, як: Сі, Асемблер, Паскаль, Фортран, Бейсик);
- середовища програмування (Delphi, Java);
- пусті експертні системи (оболонка EXSYS Professional 5.0 for Windows).

На американському і західноєвропейських ринках систем штучного інтелекту організаціям, які бажають створити експертну систему, фірми-розробники пропонують сотні інструментальних засобів для їх побудови. Нараховуються тисячі розроблених вузькоспеціалізованих експертних систем. Це свідчить про те, що експертні системи складають дуже вагомую частину програмних засобів.

Розробка ЕС має істотні відмінності від розробки звичайного програмного продукту. Досвід створення ЕС показав, що використання при їх розробці методології, прийнятої в традиційному програмуванні, або надмірно затягує процес створення ЕС, або взагалі приводить до негативного результату.

Використовувати ЕС слід тільки тоді, коли розробка ЕС можлива, виправдана і методи інженерії знань відповідають вирішуваній задачі. Щоб розробка ЕС була можливою для даного застосування, необхідне одночасне виконання принаймні наступних вимог:

а) існують експерти в даній області, які вирішують задачу значно краще, ніж фахівці, що починають;

б) експерти сходяться в оцінці пропонованого рішення, інакше не можна буде оцінити якість розробленої ЕС;

в) експерти здатні вербалізувати (виразити на природній мові) і пояснити використовувані ними методи, інакше важко розраховувати на те, що знання експертів будуть "витягнуті" і вкладені в ЕС;

г) рішення задачі вимагає тільки міркувань, а не дій;

д) завдання не повинне бути дуже важким (тобто її рішення повинне займати у експерта декілька годин або днів, а не тижнів);

е) завдання хоч і не повинне бути виражене у формальному вигляді, але все таки повинна відноситися до достатньо "зрозумілої" і структурованої області, тобто повинні бути виділені основні поняття, відносини і відомі (хоч би експертів) способи отримання рішення задачі;

є) рішення задачі не повинне в значній мірі використовувати "здоровий глузд" (тобто широкий спектр загальних відомостей про світ і про спосіб його

функціонування, які знає і уміє використовувати будь-яка нормальна людина), оскільки подібні знання поки не вдається (у достатній кількості) вкласти в системи штучного інтелекту.

Використання ЕС в даному застосуванні може бути можливе, але не виправдано. Застосування ЕС може бути виправдане одним з наступних чинників:

- рішення задачі принесе значний ефект, наприклад економічний;
- використання людини-експерта неможливе або через недостатню кількість експертів, або із-за необхідності виконувати експертизу одночасно в різних місцях;
- використання ЕС доцільно в тих випадках, коли при передачі інформації експертові відбувається неприпустима втрата часу або інформації;
- використання ЕС доцільно при необхідності вирішувати задачу в оточенні, ворожому для людини.

Додаток відповідає методам ЕС, якщо вирішувана задача володіє сукупністю наступних характеристик:

а) задача може бути природним чином вирішена за допомогою маніпуляції з символами (тобто за допомогою символічних міркувань), а не маніпуляцій з числами, як прийнято в математичних методах і в традиційному програмуванні;

б) завдання повинне мати евристичну, а не алгоритмічну природу, тобто її рішення повинне вимагати застосування евристичних правил. Завдання, які можуть бути гарантовано вирішені (з дотриманням заданих обмежень) за допомогою деяких формальних процедур, не підходять для застосування ЕС;

в) завдання повинне бути достатньо складним, щоб виправдати витрати на розробку ЕС. Проте вона не повинна бути надмірно складним (рішення займає у експерта години, а не тижні), щоб ЕС могла її вирішувати;

г) завдання повинне бути достатньо вузьким, щоб вирішуватися методами ЕС, і практично значущим.

При розробці ЕС, як правило, використовується концепція "швидкого прототипу". Суть цієї концепції полягає в тому, що розробники не намагаються відразу побудувати кінцевий продукт. На початковому етапі вони створюють прототип (прототипи) ЕС. Прототипи повинні задовольняти двом суперечливим вимогам: з одного боку, вони повинні вирішувати типові завдання конкретного застосування, а з іншої - час і трудомісткість їх розробки повинні бути вельми незначні, щоб можна було максимально запаралелити процес накопичення і відладки знань (здійснюваний експертом) з процесом вибирання (розробки) програмних засобів (здійснюваним інженером по знаннях і програмістом). Для задоволення вказаним вимогам, як правило, при створенні прототипу використовуються різноманітні засоби, прискорюючи процес проектування.

Прототип повинен продемонструвати придатність методів інженерії знань для даного застосування. У разі успіху експерт за допомогою інженера по знаннях розширює знання прототипу про проблемну область. При невдачі може потрібно розробка нового прототипу або розробники можуть прийти до висновку про непридатність методів ЕС для даного застосування. У міру збільшення знань прототип може досягти такого стану, коли він успішно вирішує всі завдання даного застосування. Перетворення прототипу ЕС в кінцевий продукт зазвичай приводить до перепрограмування ЕС на мовах низького рівня, що забезпечують як збільшення швидкодії ЕС, так і зменшення необхідної пам'яті. Трудомісткість і час створення ЕС в значній мірі залежать від типу використовуваного інструментарію.

В ході робіт із створення ЕС склалася певна технологія їх розробки, що включає шість наступних етапів (рис. 3.1): ідентифікацію, концептуалізацію,

формалізацію, виконання, тестування, дослідну експлуатацію. На етапі ідентифікації визначаються завдання, які підлягають рішенню, виявляються цілі розробки, визначаються експерти і типи користувачів.



Рисунок 3.1 – Технологія розробки експертних систем.

На етапі концептуалізації проводиться змістовний аналіз проблемної області, виявляються використовувані поняття і їх взаємозв'язки, визначаються методи вирішення задач.

На етапі формалізації вибираються інструментальні засоби і визначаються способи представлення всіх видів знань, формалізуються основні поняття, визначаються способи інтерпретації знань, моделюється робота системи, оцінюється адекватність цілям системи зафіксованих понять, методів рішень, засобів уявлення і маніпулювання знаннями.

На етапі виконання здійснюється наповнення експертом бази знань. У зв'язку з тим, що основою ЕС є знання, даний етап є найбільш важливим і найбільш трудомістким етапом розробки ЕС. Процес придбання знань розділяють на витягання знань з експерта, організацію знань, що забезпечує ефективну роботу системи, і представлення знань у вигляді, зрозумілому ЕС.

Процес придбання знань здійснюється інженером по знаннях на основі аналізу діяльності експерта за рішенням реальних завдань.

### **3.2 Особливості діагностування технічних об'єктів за допомогою експертних систем**

Експертні системи технічної діагностики — пакет програм, що класифікує ОД і несправності, які виникають у них, проводить їх аналіз, видає консультації і ставить діагноз.

Він орієнтований на завдання, вирішити які може тільки експертиза, зроблена спеціалістом з технічного діагностування. Створення експертної системи технічного діагностування потребує вирішення таких завдань:

- з'ясування цілей функціонування експертної системи діагностування;
- з'ясування та вибір способів представлення фактів і знань з технічного діагностування конкретного класу мікропроцесорних пристроїв і систем;
- вибір способу опису функції, що виконує ОД при тестуванні, та заходи щодо спрощення цього опису;
- вибір способу взаємодії оператора із системою діагностування;
- вибір системи та мови програмування для реалізації експертної системи діагностування;
- вибір методів і способів розвитку експертної системи діагностування на ґрунті виявлених нових і зміни існуючих правил;

Зібрані дані про діагностування ОД подають у формі таблиць і графіків.

Наступним компонентом, який широко застосовують для моделювання і розроблення процесу діагностування, є штучні нейронні мережі. У технічній діагностиці обчислювальних пристроїв і систем можна використати штучні нейронні мережі як з оберненими зв'язками, так і без них.

До складу систем тестового діагностування (СД) входять керуюча ЕОМ (КЕОМ), генератор тестових дій (Г) і блок проміжної буферної пам'яті (БП) для

запам'ятовування відповідних реакцій. КЕОМ формує блок тест-векторів і записує їх у генератор. За командою з КЕОМ на основі записаного блоку тест-векторів генератор формує сигнали тестових впливів, які через паралельні незалежні канали подають на ОД. У результаті на його виходах з'являються сигнали відповідних реакцій, що фіксують у БП.

В системах тестового комбінованого діагностування блоки Г і БП суміщають. Це дає змогу змінювати напрям передавання інформації на ОД у кожному такті синхронізатора. Тобто в одному такті по кожному з каналів на ОД може подаватись сигнал тестового впливу, а далі по цьому самому каналу прийматись сигнал відповідної реакції.

Вбудовані засоби тестування цифрових структур мають приблизно таку саму структуру, тільки система діагностування міститься в складі основної апаратури.

На основі штучних нейронних мереж без обернених зв'язків можна вибудовувати системи тестування, в яких генератор і буферна пам'ять однонаправлені щодо ОД.

Однак найбільше цікавить побудова систем діагностування цифрових структур на базі штучних нейронних мереж з оберненими зв'язками. Це дає змогу системі самонавчатись, використовуючи еталон. Маючи еталонний цифровий пристрій система при під'єднанні його як ОД сама генерує тест. У несправному ОД автоматично вказують місце прояву несправностей, їх опис заносять до бази даних.

### **3.3 Переваги та недоліки діагностування за допомогою експертних систем**

Експертні системи відзначаються певними перевагами при використанні. Зокрема, експертна система:

- 1) Переважає можливості людини при вирішенні надзвичайно громіздких проблем;



- 2) Не має упереджених думок, тоді як експерт користується побічними знаннями і легко піддається впливу зовнішніх факторів;
- 3) Не робить поспішних висновків, нехтуючи певними етапами виводу;
- 4) Забезпечує діалоговий режим роботи;
- 5) Дозволяє роботу з інформацією, що містить символічні змінні;
- 6) Забезпечує коректну роботу з інформацією, яка містить помилки, за рахунок використання імовірнісних методів досліджень;
- 7) Дозволяє проводити одночасну обробку альтернативних версій;
- 8) По вимозі пояснює хід кроків реалізації програми;
- 9) Забезпечує можливість обґрунтування рішення та відтворення шляху його прийняття.

10) Її сталість. Людська компетенція слабшає згодом. Перерва в діяльності людини-експерта може серйозно відбитися на його професійних якостях.

11) Легкість передачі або відтворення. Передача знань від однієї людини іншій — довгий і дорогий процес. Передача штучної інформації — це простий процес копіювання програми або файлу даних.

12) Стійкість і відтворюваність результатів. Експерт-людина може приймати в тотожних ситуаціях різні рішення через емоційні фактори. Результати ЕС — стабільні.

13) Вартість. ЕС порівняно недорогі. Їхня розробка дорога, але вони дешеві в експлуатації.

Але навіть найкращі з існуючих експертних систем мають певні обмеження у порівнянні з людиною-експертом, які зводяться до наступного:

1) Разом з тим розробка ЕС не дозволяє цілком відмовитися від експерта-людини. Хоча ЕС добре справляється зі своєю роботою, проте у визначених областях людська компетенція явно перевершує штучну. Однак і в цих випадках ЕС може дозволити відмовитися від послуг висококваліфікованого експерта, залишивши експерта середньої кваліфікації,

використовуючи при цьому ЕС для посилення і розширення його професійних можливостей.

2) Більшість експертних систем не цілком придатні для широкого використання. Якщо користувач не має деякого досвіду роботи з цими системами, у нього можуть виникнути серйозні труднощі. Багато експертних систем доступні лише тим експертам, які створювали їх бази знань. Тому потрібно паралельно розробляти відповідний користувацький інтерфейс, який би забезпечив кінцевому користувачу властивий йому режим роботи.

3) Навики системи не завжди зростають після сеансу експертизи, навіть коли проявляються нові знання.

4) Все ще залишається проблемою приведення знань, отриманих від експерта, до вигляду, який забезпечував би їх ефективно використання.

5) Експертні системи, як правило, не можуть набувати якісно нових знань, не передбачених під час розробки, і тим більше не володіють здоровим глуздом. Людина-експерт при розв'язанні задач звичайно звертається до своєї інтуїції або здорового розуму. Глузду, якщо відсутні формальні методи рішення або аналоги розв'язування даної.

### **3.4 Розвиток експертних систем**

Найбільш відомі ЕС, розроблені в 60-70-х роках, стали в своїх областях вже класичними. За походженням, наочним областям вживаних ідей, методів і інструментальних програмних засобів їх можна розділити на декілька сімейств.

**META-DENDRAL.** Система DENDRAL дозволяє визначити найбільш вірогідну структуру хімічної сполуки за експериментальними даними (спектрографії, даним ядерному магнітного резонансу і ін.). M-D автоматизує процес придбання знань для DENDRAL. Вона генерує правила побудови фрагментів хімічних структур.

**MYCIN-EMYCIN-TEIREIAS-PUFF-NEOMYCIN.** Це сімейство медичних ЕС і сервісних програмних засобів для їх побудови.

PROSPECTOR-KAS. PROSPECTOR - призначена для пошуку (прогнозування) родовищ на основі геологічних аналізів. KAS - система придбання знань для PROSPECTOR.

CASNET-EXPERT. Система CASNET - діагностична медична ЕС для видачі рекомендацій по лікуванню очних захворювань. На її основі розроблена мова інженерії знань EXPERT, за допомогою якої створений ряд інших медичних діагностичних систем.

HEARSAY-HEARSAY-2-HEARSAY-3-AGE. Перші дві системи цього ряду є розвитком інтелектуальної системи розпізнавання зливої людської мови, слова якої беруться із заданого словника. Ці системи відрізняються оригінальною структурою, заснованою на використанні дошки оголошень глобальної бази даних, що містить поточні результати роботи системи. Надалі на основі цих систем були створені інструментальні системи

HEARSAY-3 і AGE (Attempt to Generalize - спроба спілкування) для побудови ЕС.

Системи AM (Artificial Mathematician - штучний математик) і EURISCO були розроблені в Станфордському університеті доктором Д.Ленатом для дослідницьких і учбових цілей. Ленат вважає, що ефективність будь-якої ЕС визначається знаннями, що закладаються в неї. На його думку, щоб система була здібна до навчання, в неї має бути введений близько мільйона відомостей загального характеру. Це приблизно відповідає об'єму інформації, яку має в своєму розпорядженні чотирилітня дитина з середніми здібностями. Ленат також вважає, що шлях створення вузькоспеціалізованих ЕС із зменшеним об'ємом знань веде до безвиходу.

У систему AM спочатку було закладено близько 100 правил виводу і більше 200 евристичних алгоритмів навчання, що дозволяють будувати довільні математичні теорії і уявлення. Спочатку результати роботи системи були вельми багатообіцяючими. Вона могла сформулювати поняття натурального ряду і простих чисел. Крім того, вона синтезувала варіант гіпотези Гольдбаха про те, що кожне парне число, більше два, можна

представити у вигляді суми двох простих чисел. До цих пір не вдалося ні знайти доказу даної гіпотези, ні спростувати її. Подальший розвиток системи сповільнився і був відмічений, що не дивлячись на проявлені на перших порах “математичні здібності”, система не може синтезувати нових евристичних правил, тобто її можливості визначаються тільки тими евристичними, що були в неї спочатку закладені.

При розробці системи EURISCO була зроблена спроба подолати вказані недоліки системи АМ. Як і на початку експлуатації АМ, перші результати, отримані за допомогою EURISCO, були ефективними. Повідомлялося, що система EURISCO може успішно брати участь в дуже складних іграх. З її допомогою у військово-стратегічній грі, ВМФ США, що проводиться, була розроблена стратегія, що містить ряд оригінальних тактичних ходів. Згідно одному з них, наприклад пропонувалося висаджувати свої кораблі, що отримали пошкодження. При цьому кораблі, що залишилися непошкодженими, отримує необхідний простір для виконання маневру.

Проте через деякий час виявилось, що система не завжди коректно перевизначає спочатку закладені в неї правила. Так, наприклад, вона стала порушувати строге розпорядження звертатися до програмістів з питаннями тільки в певний час доби. Тобто, система EURISCO, так само як і її попередниця, зупинилася в своєму розвитку, досягнувши межі, визначеної кінець кінцем її розробником.

Проте вже на початкових етапах виявилися серйозні принципові труднощі, що перешкоджають ширшому розповсюдженню ЕС і що серйозно уповільнюють і ускладнюють їх розробку. Вони цілком природні і витікають з самих принципів розробки ЕС.

Перша перешкода виникає у зв'язку з постановкою завдань. Більшість замовників, плануючи розробку ЕС, в наслідок недостатньої компетентності в питаннях застосування методів II, схильна значно перебільшувати очікувані можливості системи. Замовник бажає побачити в ній самостійно мислячого експерта в досліджуваній області, здатного вирішувати широкий круг завдань.

Звідси і типові первинні постановки завдання по створенню ЕС: “Розробити ЕС по обробці зображення”; “Створити медичні ЕС по лікуванню захворювань опорно-рухового апарату у дітей”. Проте, як вже наголошувалося, потужність евристичних методів вирішення задач при збільшенні спільності їх постановки різко зменшується. Тому найдоцільніше (особливо при спробі створення ЕС в області, для якої у розробників ще немає досвіду створення подібних систем) обмежитися спершу не дуже складним досяжним завданням в даній області, для вирішення якої немає простого алгоритмічного способу (тобто неочевидно, як написати програму для вирішення цього завдання, не використовуючи методи обробки знань). Крім того, важливо, щоб вже існувала методика рішення цієї задачі, що склалася, “уручну” або якими-небудь розрахунковими методами. Для успішної розробки ЕС необхідні не тільки чітка і конкретна постановка завдань, але і розробка докладного (хоч би словесного) опису “ручного” (або розрахункового) методу її рішення. Якщо це зробити тяжко, подальша робота по побудові ЕС втрачає сенс.

Друга і основна перешкода - проблема придбання (засвоєння) знань.

Ця проблема виникає при “передачі” знань, якими володіють люди-експерти ЕС. Зрозуміло для того, щоб “навчити” їм комп'ютерну систему, перш за все потрібно сформулювати, систематизувати і формалізувати ці знання “на папері”. Це може показатися парадоксальним, але більшість експертів (за виключенням, можливо, математиків), успішно використовуючи в повсякденній діяльності свої обширні знання виникають великі проблеми при спробі сформулювати і представити в системному вигляді хоч би основну частину цих знань: ієрархію використовуваних понять, евристики, алгоритми, зв'язки між ними. Виявляється, що для подібної формалізації знань необхідний певний систематичний стиль мислення, ближчий математикам і програмістам, чим, наприклад, юристам і медикам. Крім того, необхідні, з одного боку, знання в області математичної логіки і методів представлення знань, з іншої - знання можливості ЕОМ, з програмного забезпечення, зокрема, мов і систем програмування.

Таким чином, з'ясовується, що для розробки ЕС необхідна участь в ній особливого роду фахівців, що володіють вказаною сукупністю знань і що виконують функції “посередників” між експертами в наочній області і комп'ютерними (експертними) системами. Вони отримали назву інженери знань (у оригіналі - knowledge engineers), а сам процес розробки ЕС і інших інтелектуальних програм, заснованих на уявленні і обробці знань, - інженерією знань (knowledge engineering). У розвинених зарубіжних країнах спеціальність “інженер знань” введена в багатьох вузах, в нашій країні основи інженерії знань вивчаються поки в рамках спеціалізації по системному програмуванню. Функції експерта і інженера знань рідко поєднуються в одній особі. Частіше за функцію інженера знань виконує розробник ЕС. Як показав досвід багатьох розробок, для первинного придбання знань, в яких беруть участь експерти, інженери знань і розробники ЕС, потрібна активна робота всіх трьох категорій фахівців. Вона може тривати від декількох тижнів до декількох місяців.

На етапі придбання знань можуть виникнути проблеми і психологічного порядку: експерт може перешкоджати передачі своїх знань ЕС, вважаючи, що це понизить його престиж як фахівця і створить передумови для заміни його “машиною”. Проте ці побоювання безпідставні:

ЕС “упевнено” працює лише в типових ситуаціях, а також зручна у випадках, коли людина знаходиться в стані стресу, в найбільш складних ситуаціях, що вимагають нестандартних міркувань і оцінок, людини-експерта незамінна.

Третя серйозна перешкода - в дуже великій трудомісткості створення ЕС: потрібно розробити засоби управління базою знань, логічного виводу, діалогової взаємодії з користувачем і т. д. Об'єм програмування такий великий, а програми такі складні і нетрадиційні, що має сенс, як це прийнято зараз при розробці великих програм, на першому етапі створити демонстраційний прототип системи - попередній варіант, в якому в спрощеному вигляді реалізовані лише її основні плановані можливості і яка служитиме для замовника підтвердженням того, що розробка ЕС для вирішення даного

завдання принципово можлива, а для розробників - основою для подальшого поліпшення і розвитку системи.

Одній з причин невдач в створенні ЕС стала недооцінка авторами ЕС об'ємів і ролі неявних знань. Системи, бази знань яких створювалися на основі довідників, в кращому разі так довідниками і залишилися.

Більшість же таких систем виявлялися навіть гіршою за довідники, оскільки сковували дослідницьку думку користувача. Другим “вузьким місцем” ЕС виявилася модель, на якій були засновані їх перші екземпляри, і лише модель знань, що приймає вид номінальної направленої ієрархічної мережі з можливістю вибору в кінцевому з логічних вузлів (де кожна окрема ситуація схожа на дерево з листям), може стати базою для побудови ЕС.

Коли стала очевидною повна непридатність цих систем і створеного для них спеціалізованого апаратного устаткування, багато оглядачів прийшли до висновку, що існуюча технологія створення ЕС була безвихідним напрямом в розвитку інформаційних технологій. У останнє десятиліття ЕС відродилися у вигляді систем з базою знань, які тісно перепліталися з існуючими діловими системами. Їх використовують в охороні здоров'я, страхуванні, банківській справі і інших областях, щоб за допомогою правил і об'єктів накопичувати досвід, підвищити якість схвалюваних рішень. Бази знань вбудовані сьогодні в найбільш сучасні крупні системи. Вони знаходяться в самій серцевині програм-агентів, що здійснюють пошук в мережі Internet, і допомагають колективам користувачів справитися з потоками інформації.

Розглянемо чинники, що стимулюють розвиток систем з базами знань:

- компанії, що добилися значної економії грошових коштів завдяки технології баз знань, розвивають і вибудовують її в спеціальні бізнес-процеси, які були б просто неможливі без комп'ютерної експертизи;

- розроблені нові технології створення баз знань, є необхідним засобом, який може змінити бізнес-процес;

- сучасні системи реалізовані не на спеціалізованому, а на стандартному устаткуванні.

Об'єднання всіх видів програмних продуктів і їх окремих компонентів в єдину ЕС визнане економічно вигідним, оскільки застосування ЕС дозволяє істотно скоротити витрати на підготовку кваліфікованого персоналу, подальшу перевірку працездатності і надійності систем, що розробляються і дослідницьких, а також зменшити час на проектування і(або) дослідження.

Об'єктна технологія, на основі якої можуть створюватися і розвиватися сучасні ЕС - значний крок вперед в порівнянні з CASE - засобами, оскільки вона схожа на наше сприйняття навколишньої дійсності. Наше уявлення про моделювання міняється, те ж саме відбувається і з об'єктами, тому супровід програмованих об'єктів може виконуватися аналогічно пристосуванню наших умоглядних образів до зміни навколишніх умов. Дана технологія чудово підходить аналітикам і програмістам, оскільки дуже нагадує стратегію вирішення проблем і відповідає розумовим процесам людей, що вважаються експертами в своїй області.

Щоб стати експертом, фахівцеві потрібний інструментарій, що імітує мислення експерта. Розробка парадигми перетворюється із завдання, чужого мисленню людини, в знайоме, звичне і легко виконуване завдання.

Як працюють експерти? Слідуючи принципам, закладеним в об'єктно-орієнтовані технології, вони мають на увазі проблеми на об'єкти або класи об'єктів. У міру накопичення знань в певній області вони роблять узагальнення, орієнтуючись на виділені об'єкти або класи об'єктів.

Деякі узагальнення мають ієрархічну структуру, де властивості вищих об'єктів успадковуються об'єктами нижчого рівня. Суть може відповідати декільком класам об'єктів і взаємодіяти з різними об'єктами або класами. У міру того як знання експерта заглиблюються, на їх основі формуються нові асоціації, а окремі рівні ієрархії пропадають або розширюються.

Методика об'єктно-орієнтованого програмування заснована на моделі, що нагадує образи, що виникають в мозку аналітика, яка представляє предмети і процеси у вигляді об'єктів і зв'язків між ними.



Спостерігаючи подію, експерт легко виділяє знайомі образи. Для вирішення проблем він випробовує конкретні правила, розглядаючи при цьому досліджувану проблему під певним ракурсом.

При розробці систем автоматизованого проектування (САПР) вже не можна обійтися без ЕС; їх використання визнане економічно вигідним.

З середини 80-х років найбільш популярні системи з базами знань створювалися з орієнтацією на стандартне устаткування. У цьому ключ до розуміння причин успіху сучасної технології баз знань. Досвід показує, що системи з базами знань необхідно вбудовувати в найважливіші бізнес-процеси і організувати роботу персоналу так, щоб він міг максимально використовувати їх переваги для досягнення якнайкращих результатів.

Серед сучасних комерційних систем хочеться виділити експертну систему - оболонку G2 американської фірми Gensym (USA) як неперевершену експертну комерційну систему для роботи з динамічними об'єктами. Робота в реальному часі з малими часом відповіді часто необхідна при аналізі ситуацій в корпоративних інформаційних мережах, на атомних реакторах, в космічних польотах і безлічі інших завдань. У цих завданнях необхідно ухвалювати рішення протягом мілісекунд з моменту виникнення критичної ситуації. ЕС G2 призначена для вирішення таких завдань, чим відрізняється від більшості динамічних ЕС такими характерними властивостями, як:

- робота в реальному часі з розпаралелюванням процесів міркувань;
- структурований природно-мовний інтерфейс з управлінням по меню і автоматичною перевіркою синтаксису;
- зворотний і прямий вивід, використання метазнань, сканування і фокусування;
- інтеграція підсистеми моделювання з динамічними моделями для різних класів об'єктів;
- структуризація БЗ, спадкоємство властивостей, розуміння зв'язків між об'єктами;

- бібліотеки знань є ASCII-файлами і легко переносяться на будь-які платформи і типи ЕОМ;
- розвинений редактор для супроводу БЗ без програмування, засобу трасування і відладки БЗ;
- управління доступом за допомогою механізмів авторизації користувача і забезпечення бажаного погляду на додаток;
- гнучкий інтерфейс оператора, що включає графіки, діаграми, кнопки, піктограми і т.п.;
- інтеграція з іншими застосуваннями (по TCP/IP) і базами даних, можливість видаленої і розрахованої на багато користувачів роботи.

Як приклад швидкодіючої системи для відстежування стану корпоративної інформаційної мережі (ЦИК) можна привести засновану на знаннях систему моніторингу OMEGAMON фірми Candle (IBM з 2004 р.) . OMEGAMON - типовий представник сучасних експертних мультиагентних динамічних систем, що працюють в реальному часі. OMEGAMON дозволяє за лічені хвилини ввести і відладити правила моніторингу позаштатних ситуацій для об'єктів ЦИК. Правило (situation) записується як продукція. Логічний вивід в такій ЕС реалізований за допомогою механізму policy, що забезпечує побудову ланцюжків логічного виводу на основі situations.

На рис. 3.2 показані основні компоненти системи OMEGAMON:

- сервер збору інформації від агентів Candle Management Server (CMS);
- сервер відображення результатів, сповіщення користувачів і настройки моніторингу ЦИК Candle Net Portal Server (CNP) з своїми клієнтами;
- Candle Management Workstation (CMW) - робоча станція адміністратора OMEGAMON;
- Managed Systems - комп'ютери ЦИК, на яких працюють агенти.

Агенти OMEGAMON працюють на контрольованих системах (Managed Systems), як першокласні шпигуни: вони непомітні з погляду використання CPU і оперативні при моніторингу з погляду часу постачання своїх донесень в центр (CMS). Вони фіксують критичну ситуацію і забезпечують реакцію (ACTION) менш ніж за 1 секунду. Все визначається тим інтервалом моніторингу, який задається експертом на основі своїх інтуїтивних знань. Як ACTION при визначенні ситуацій можна використовувати різні типи дій: посилку поштових повідомлень і sms фахівцям супроводу, посилку інформації в інші системи, виконання системних команд і т. д. Кількість об'єктів моніторингу (комп'ютерів ЦИК) може досягати декількох сотень, і на кожному об'єкті може бути декілька сотень контрольованих параметрів. Кількість платформ (типів операційних систем), на яких працюють агенти, перевищує 30, починаючи від OS/390, OS/400, далі різні UNIX-платформи (HP\_UX, AIX, Solaris) і закінчуючи Windows. На одному сервері може працювати декілька агентів, наприклад, для моніторингу WebSphere MQ (MQSeries), WebSphere Application Server, DB-2 і HP\_UNIX одночасно.

Сервери CMS і CNP-servers можуть працювати на одному виділеному сервері, як правило, на базі операційної системи Windows. Налаштування ситуацій (situations) і механізмів логічного виводу (policy) проводиться на робочому комп'ютері адміністратора через CNP-client. Для тільки що створеної ситуації ви натискаєте кнопку Apply і вмить бачите відображення ACTION через CNP-client, через пошту і т. д.

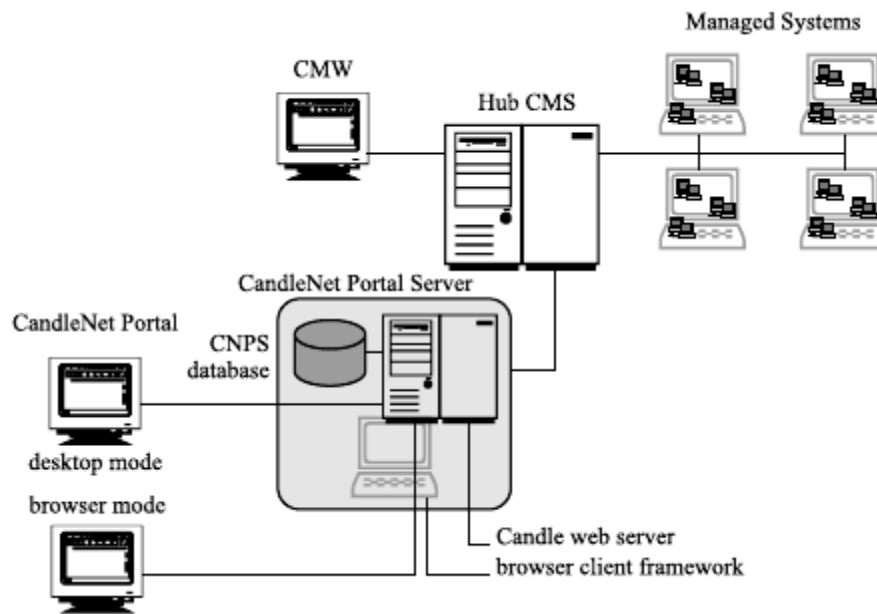


Рисунок 3.2– Структурна схема експертної системи OMEGAMON.

Слід підкреслити, що заснована на знаннях система моніторингу OMEGAMON - це вельми ефективна система управління обчислювальними ресурсами, надійний і незамінний помічник у пошуках рішень по оперативному усуненню критичних і важких для діагностування ситуацій, при аналізі інформаційних потоків, аналізі продуктивності і настройці ЦИК.

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Відмови і дефекти ГПА

Основними вимогами, які ставляться до газотурбінних ГПА, є їх здатність до безвідмовної роботи при всіх режимах експлуатації на протязі встановленого ресурсу. В процесі довготривалої експлуатації проходить поступове погіршення фізичних і механічних властивостей з'єднань окремих вузлів і деталей, ріст статичних, хімічних і термічних напружень в елементах агрегатів. В результаті виникають процеси старіння, зношування та руйнування матеріалів. Окремі вузли і деталі приходять в несправний стан, хоча в цілому агрегат продовжує зберігати свою працездатність. Такий стан визнається як поступова відмова. Виникнення поступових відмов зв'язане з напрацюванням агрегатів і проявляється в погіршенні їх технічних показників роботи – зростання рівня вібрацій і температури підшипників, турбіни і ін. Для усунення дефектів і підготовки працездатного агрегату використовується система планово-попереджувальних ремонтів. Для ГПА найбільшу небезпеку становлять раптові відмови, коли в результаті руйнування механічної частини агрегат втрачає працездатність і з метою подальшої безпеки, та зменшення наслідків руйнування виникає необхідність в аварійній зупинці. Практика експлуатації показує, що відмови можуть бути двох видів. Раптові, які відбуваються у довільний момент часу із за непередбачуваного, раптового зростання зовнішніх навантажень (вони характеризуються різкою зміною технічного стану), поступові, виникнення яких передбачено накопиченням дефектів. Для вказаного виду характерне поступове погіршення параметрів технічного стану. Закон розподілу таких відмов в більшості випадків є нормальним. Частіше всього раптовість появи відмов пов'язана з недостатньою оснащеністю агрегатів засобами контролю, їх дефектами та порушенням правил технічної експлуатації.

До найбільш напружених елементів агрегатів відноситься: турбокомпресор, турбіна, нагнітач і камера згорання. Їхні деталі працюють в умовах дії високих статичних, динамічних і теплових навантажень і визначають надійність механічної частини агрегату в цілому.

Надійність осьового компресора і турбіни визначаються головним чином надійністю лопаткового апарата. Крім того надійність турбіни і турбокомпресора визначається працездатністю диска, який піддається дії різноманітних навантажень. Найбільш непридатний режим для диска – пусковий. В момент пуску виникають підвищені термічні напруження, які в сполученні з напруженнями від відцентрових сил можуть значно погіршити стан вузла посадки диска на ротор і призвести до перевантаження штифтів. При порушеннях системи охолодження, тобто зменшенні витрати повітря на охолодження диска, різниця температур значно збільшується, послаблюється посадка диска, а навантаження від обертового моменту і сил невірноваженості сприймаються лише радіальними штифтами. Спільна дія несприятливих факторів призведе до поломки штифтів і порушення посадки дисків. В результаті з'являється значна невірноважена сила, яка визиває підвищену вібрацію всього газоперекачувального агрегату. Ознакою порушення посадки є передній бій диска, що, в основному, властиво турбоагрегатам ГТ-750-6 і ГТ-700-5.

Зачіпання лопаток ротора об корпус характерно для турбоагрегатів ГТ-700-5 і ГТ-750-6. Дійовий вплив на виникнення зачіпання має температурний стан обойми корпуса. При сталому режимі обойма має нерівномірний температурний стан з різницею по температурі приблизно 150°C. Це може призвести до її деформації і різниця радіальних зазорів в вертикальному і горизонтальному напрямках будуть становити 5мм. Таким чином, тепла деформація обойми – основна причина зачіпання лопаток об корпус при пускових режимах.

Окрім накопичення втомних пошкоджень в лопатках і биття по торцю диска ротора ТВД при зачіпаннях проходить також зношення ущільнень, що призведе до зниження приведеної потужності турбіни.

Одним із серйозних відмов газотурбінного ГПА ГТ-700-4, в процесі експлуатації є поломка вала турбіни. Руйнування у всіх випадках носить втомний характер з початком розвитку тріщин від паза під шпонку, або від гантелі уступу шийки валу, тобто від місця можливої максимальної концентрації напружень. Причина руйнування, як правило, не пов'язана з металургійними дефектами матеріалу або стійкими характеристиками вала, а є результатом незадовільної роботи окремих елементів самого газотурбінного ГПА. Основною причиною руйнування є знакозмінні напруження, які виникають при підвищенні вібрації ГПА. Руйнуванню також сприяють напруження, які виникають від динамічних явищ і пов'язані з загальною вібрацією агрегату.

Серйозним дефектом ГТ-700-5 є короблення корпусу турбоагрегату, яке спостерігається після 8-10 тисяч годин роботи ГПА під навантаженням. Короблення корпусу призводить до розкриття фланця циліндра ТВТ як горизонтального роз'єму, деформації обойми цієї турбіни, збільшенню зазорів і деформації її елементів, та збільшенню вібрації ГПА.

Крім того, на номінальному режимі роботи ротора агрегату можлива вібрація, яка значно перевищує допустимі норми.

Вібрація підшипників нагнітача не є показниковою характеристикою діючих зусиль, оскільки корпус має досить малу твердість і масу в порівнянні з ротором, і тому зміна вібраційного стану ротора практично не досягає рівня вібрації підшипників. Опорна система турбокомпресора і турбіни більш придатна і менш стабільна. Під опорною системою прийнято розуміти пружно зв'язані між собою підшипник, корпус, стойку і фундамент.

Динамічний стан опорних систем, тобто їх близькість або віддаленість від зони резонансу, залежить головним чином від стану корпусів і від правильної зборки підшипників. При коробленні корпусів нерівномірно

розподіляються навантаження на опорні стойки, а також змінюється твердість опорних систем. В процесі експлуатації агрегатів під дією різних факторів зношується бабітова заливка підшипників, яка спричинює наступні негативні наслідки: змінюється центрування роторів ТВТ і нагнітача; зношуються ущільнення і змінюються зазори в проточній частині, збільшуються витрати масла через ущільнюючий підшипник нагнітача, створюються умови для виникнення нестійкої роботи ротора на масляній плівці.

На величину зношування впливає зменшення або збільшення натягів вкладишів підшипників, нерівномірне прилягання вкладишів корпусу шийки ротора і вкладишів, перепал бабіта при його наплавці, а також тривала робота на валоповоротному пристрої, число пусків, вібрація на перехідних режимах, тиск, витрат і стан масла.

Працездатність опорних підшипників залежить головним чином від розцентровки роторів під впливом нерівномірності теплових переміщень фундаментних колон під ГПА, теплових переміщень корпусів турбіни, відносних переміщень корпусів турбіни і нагнітача під дією підсилення збоку патрубків.

## **4.2 Розробка загальної структури**

Основним елементом, з яким оперує система, є функція двох змінних, яка задана на регулярній сітці (полі). У вигляді полів представляються значення амплітуд в контрольних точках досліджуваної структури і сам діагноз діагностування ГПА.

Формовані системою значення амплітуд в контрольних точках описують локальні особливості середовища діагностування в околах вузлів. Значення амплітуд в контрольних точках вибираються і кодуються спеціалістами так, щоб поле шуканого діагнозу могло бути з достатньою точністю функції полів цих ознак. Основні засоби системи призначені для того, щоб допомогти



спеціалісту знайти і проаналізувати дану діагностуючу функцію і одержане поле діагностування.

Для знаходження діагностуючої функції використовується вибірка з гармонік, для якого даються оцінки діагностування. В вибірку входять вибрані точки, і точки по яких є додаткова інформація стосовно діагнозу. Точки вибірки повинні по можливості рівномірно заповнювати оцінку (механічну причину) дефекту і мати рівну представленість для різних значень діагностуючого дефекту.

Оцінки діагнозу в точках вибірки роблять експерти. Спеціалісти, що приймають участь в експертизі, дають оцінки незалежно одне від одного. При оцінюванні враховуються зареєстровані події або досліджені об'єкти ГПА, відомості про діагностуюче явище і знання про особливості дефекту і тенденціях оцінки, що досліджується.

Як оцінки можуть використовуватися зареєстровані значення діагнозу. Проте в ряді випадків відмова від експертних оцінок і формальна заміна їх даними про зареєстровані спостереження збіднюють вхідну інформацію і можуть суттєво погіршити результати діагностування.

Діагностуюча функція  $FC(x, g)$ , де  $x$  - вектор ознак;  $g$  – вектор оцінюваних параметрів, шукається в деякому наперед вибраному класі функцій виходячи із умов найкращої оцінки діагнозу в точках вибірки.

Важливим питанням є оцінювання точності залежності діагнозу від значень амплітуд в контрольних точках. Відомі методи оцінювання точності вимагають введення ряду статистичних тверджень, що явно не впливають із задачі, яка розв'язується. Тому, як формальний показник точності рішення використовується величина середньої помилки оцінок діагнозу.

Величина середньої похибки не може служити єдиним критерієм правильності. При хорошому діагностуванні в середньому можуть існувати окремі зони, в яких діагноз сильно відрізняється від представлень експерта. В результаті аналізу одержаних розбіжностей спеціаліст повинен дати діагностичну інтерпретацію одержаного діагнозу і діагностичної функції, а

також прийняти рішення про необхідність корекції моделі діагностованого дефекта. При цьому може бути змінений вид діагностичної функції, або внесені зміни в склад вихідних даних: введені або знайдені засобами системи додаткові поля ознак, змінено кодування ознак, додані додаткові точки вибірки і т. д. На кожному кроці ітерації спеціаліст формує модель діагностованого дефекту і підготовлює вхідні дані. Далі знаходиться діагностуюча функція. Функція інтерпретується, як гіпотеза про шукану закономірність, що узгоджується з наявними знаннями і даними. Результати аналізуються і спеціаліст приймає рішення про необхідність виконання наступної ітерації.

В системі ESTA використовуються наступні типи даних:

- Каталоги спектрів (значення амплітуд в контрольних точках).
- Діагностовані дефекти, вихідні і одержані засобами системи поля за допомогою значень амплітуд в контрольних точках.

Знання експертів складаються із знань про механічну причину дефекту і знань про величину значення амплітуди в контрольній точці гармоніки спектру.

Знання про характер залежності між діагностичною величиною і ознаками дефекту носять якісний характер. Із загальних теоретичних положень, або користуючись якісними моделями і емпіричними даними спеціаліст може визначити характер зміни діагностованої величини в залежності від змін окремо кожної із ознак при умові незмінності решти. Ці знання використовуються для вибору значень амплітуд в контрольних точках, для розробки способів їх кодування, обґрунтування рекомендацій по обчисленню вторинних ознак засобами системи, а також для знаходження і аналізу діагностичної функції.

В системі ESTA функція діагностування шукається у вигляді:

$$FC(x, g) = \sum_{i=1}^I \psi_i(x_i, g) \quad (4.1)$$

де  $\psi_i(x_i, g)$  – кусково-лінійна функція від ознаки  $x_i$ , в якій вузли наперед задані, а вектор параметрів  $g$  визначає значення функції в вузлах.

Вибраний клас функцій дозволяє при відносно малій розмірності вектора параметрів врахувати наявні в спеціалістів представлення про неперервність залежності діагнозу від діагностичних ознак і про характер нелінійності шуканої закономірності.

Крім цього цей клас функцій зручний при інтерпретації результатів діагнозу: кожен із функцій  $\psi_i(x_i)$  можна інтерпретувати, як нелінійний вклад ознаки  $x_i$  в діагноз, а поле діагностування, як суму полів нелінійно перетворених ознак.

Частина знань про характер зв'язку між діагнозом і ознаками представлена в системі у вигляді фреймів і використовується для підтримки пояснення отриманих результатів.

Знання про значення діагнозу на вибірці пунктів дефектів формалізовані і представлені у вигляді інтервальних експертних оцінок.

Вид інтервальної експертної оцінки підбирався таким чином, щоб методика діагностування була простою і зручною для експерта і разом з тим забезпечувала одержання достатньо повної інформації про значення діагностичної оцінки:

$$EE = (p^{(1)}, p^{(2)}, w^{(1)}, w^{(2)}) \quad (4.2)$$

де  $p^{(1)}$ ,  $p^{(2)}$  – границі інтервалу для значення діагностованого дефекту. В задачах функціональних залежностей інтервал  $[p^{(1)}, p^{(2)}]$  вибирається так, щоб всередині інтервалу всі значення діагностованої величини були би на думку експерта найбільш імовірними і рівноможливими. В задачах розпізнавання діагностуюча функція повинна приймати різні значення при наявності і відсутності дефекту. Із цих міркувань вибираються інтервали  $[p^{(1)}, p^{(2)}]$  для комірок, де зареєстрована точка вимірювання значення вібрації дефекту, і для комірок, де на думку експертів дефектів бути не може.  $w^{(1)}$ ,  $w^{(2)}$  – вагові коефіцієнти, з допомогою яких експерт вказує степінь своєї впевненості в можливості того, що значення

діагностованої величини може бути менше або більше відповідної границі інтервалу  $p^{(1)}$  або  $p^{(2)}$ .

Головна математична задача, що вирішується при побудові діагнозу, є задача функції багатьох змінних в деякому класі функцій:

$$\{FC(x, g)/g \in G\}, \quad (4.3)$$

де  $G$  – область допустимих значень вектора параметрів  $g$ . Розв'язок полягає в знаходженні оцінки вектора параметрів  $\bar{g}$  по вибірці спостережень  $\{OB_{j,n}, x_n\}$ , де  $OB_{j,n}$  – інтервальна оцінка значення діагностованої величини, визначена  $j$ -м експертом в  $n$ -й точці вибірки;  $x_n$ - вектор дефекту в  $n$ -й точці.

Оцінка вектора параметрів  $\bar{g}$  має вигляд [118]

$$\bar{g} = \arg \min_{g \in G} \sum_n \sum_j pf(FC(x_n, g), OB_{j,n}), \quad (4.4)$$

де  $pf(FC, S)$  – штрафна функція, що визначає величину штрафу за неточність експертної оцінки  $OB$  значенням дігностуючої функції;

$$pf(FC, OB) = (w^{(1)}(|FC - p^{(1)}| + p^{(1)} - FC)/2 + w^{(2)}(|FC - p^{(2)}| - p^{(2)} + FC)/2)^q, \quad (4.5)$$

$$w^{(1)} > 0, \quad w^{(2)} > 0, \quad p^{(1)} \leq p^{(2)}, \quad q \geq 1$$

Якщо діагностуюча функція  $FC(x, a)$  лінійна по параметрах, то мінімізуючий функціонал є випуклим. Якщо при цьому область  $G$  допустимих значень вектора  $g$  також випукла, то при оцінюванні можна використати ітераційні алгоритми градієнтного типу.

Очевидно, що в частковому випадку, коли використовуються експертні оцінки в яких завжди,  $p^{(1)} = p^{(2)}$ ,  $w^{(1)} = w^{(2)}$  при  $q=1$  алгоритм оцінювання співпадає з методом найменших модулів, а при  $q=2$  – з методом найменших квадратів.

В експертних оцінках неминуче зустрічаються протиріччя. Можлива ситуація, коли оцінки великого числа менш компетентних експертів можуть значно вплинути на оцінки найбільш кваліфікованих експертів. Формальна процедура вибору найбільш компетентних експертів базується на незалежності встановлення експертних оцінок і реалізує просту ідею: представлення і

експертні оцінки компетентних експертів краще відображають шукані закономірності і тому близькі між собою.

В системі ESTA при знаходженні діагностуючої функції одночасно виконується вибір найбільш суттєвих ознак. Це здійснюється з допомогою покрокової процедури: вибирається ознака, що дає найкраще спостереження, на наступному кроці до неї підбирається друга ознака, яка дає найменшу похибку в парі з першою ознакою і т. д. Починаючи з деякого кроку похибка на навчальній вибірці починає спадати незначно, а похибка на контрольній вибірці починає зростати, що вказує на недоцільність подальшого нарощування ознак.

Результатами рішення є побудований діагноз і знайдена залежність діагностичної величини від ознак дефекту. Ціль аналізу полягає в тому, щоб обґрунтувати діагноз і прийняти рішення про спосіб його можливої корекції. Для вибраного класу функцій діагноз природнім чином розпадається на адитивні компоненти. Це дозволяє пояснювати значення прогнозу в аналізованих точках, використовуючи значення  $\psi_i(x_i, a)$  – внесків ознак  $x_i$  в діагноз  $FC(x, a)$ .

Формалізувати всі міркування спеціаліста про характер шуканої залежності наперед не вдається. Спеціаліст намагається інтерпретувати знайдену залежність в термінах якісних представлень. При одержанні неінтерпретованих функцій  $\psi_i(x_i)$  спеціаліст може скорегувати залежність: вибрати інші вузли в функції  $\psi_i(x_i, g)$ , змінити кодування ознаки  $x_i$ , або відмовитися від цієї ознаки взагалі. Інтерпретація підтримується візуалізацією функцій  $\psi_i(x_i, g)$  і процедурою пояснення діагнозу в точках вибірки. Процедура пояснення дає текстову інтерпретацію впливу на діагноз в аналізованій точці кожної з ознак. Співставлення апріорних знань про характер функцій  $\psi_i(x_i, g)$  зі знайденою залежністю може виявитися підказкою для нової інтерпретації залежності, або може бути прийнята як основа для корекції моделі.

Ціль процедури обґрунтування полягає в тому, щоб підтвердити діагноз в деякій точці або вказати на причини його неточності. При обґрунтуванні

знаходиться група точок, що подібна до аналізованої за певними ознаками. Для деяких із виявлених точок може бути наявна додаткова інформація про діагноз дефекту, наприклад зареєстровані значення діагнозу, або експертні оцінки діагностованої величини. Ця інформація може підтверджувати діагноз в точці, що аналізується, або заперечувати його. Спеціаліст-експерт може з цим погодитися, або ні. В випадку незгоди перед ним виникає конкретна задача: пояснити, чим аналізована точка відрізняється від точок, виділених процедурою. Це може привести спеціаліста до висновків про необхідність введення додаткових ознак, про необхідність зміни кодування ознак, про додавання точок у вибірку.

Результати спостережень можуть бути введені трьома способами:

- шляхом введення спостережень  $OB_i$  з допомогою природньої мови;
- шляхом введення з допомогою природньої мови ключевих слів, які приводять в дію цілі групи спостережень  $OB_i$ ;
- шляхом оцінювання бази даних, що містить інформацію про про об'єкт, і перетворення інформації з допомогою нечіткого інтерпретатора.

Введення ключових слів викликає відповідні розділи із довідника спостережень. Інженер-когнітолог може зв'язувати з цими спостереженнями відповідні нечіткі значення .

Після того, як зібрані всі спостереження здійснюється логічний висновок типу “спостереження-спостереження”. Список спостережень містить всі необхідні пункти даних, що включають нечіткі значення, результати вимірів і висновку, числові значення, дані спостережень. Після цього список спостережень перевіряється на несуперечливість.

На наступному кроці оцінюються проміжні комбінації спостережень. Після проходження перевірки на відповідність обчислюються нечіткі значення для всіх комбінацій спостережень. Одержані в результаті списки тепер повні і не містять ніяких протиріч. Нечіткі значення  $\mu_{FCj} = 1.00$ , тобто підтвержені

діагнози FC<sub>j</sub> для точок вимірювання DE<sub>q</sub> визначаються з допомогою такого співвідношення:

$$\mu_{FC_j} = 1.00, \text{ якщо } \mu_{W_{DEFC}}^1(DE_q, FC_j) = 1.00 \\ \text{ або } \mu_{W_{DEFC}}^4(DE_q, FC_j) = 1.00 \quad (4.6)$$

Нечіткі значення  $\mu_{FC_j}=0.00$ , тобто виключені прогнози FC<sub>j</sub> для точки вимірювання DE<sub>q</sub> визначаються з допомогою:  $\mu_{FC_j}=0.00$ , якщо ( $\mu_{W_{DEFC}}^2(DE_q, FC_j) = 1.00$ , або  $\mu_{W_{DEFC}}^3(DE_q, FC_j) = 1.00$  або  $\mu_{W_{DEFC}}^5(DE_q, FC_j) = 1.00$  або  $\mu_{W_{DEFC}}^6(DE_q, FC_j) = 1.00$ ).

Відношення типу “дефект – розцентровка, дефект підшипника, дисбаланс, дефект нагнітача, дефект в зубчатій передачі, турбулентність” допускають логічний висновок наступних діагнозів (такі, що підтверджуються або такі, що виключаються):

$$\mu_{FC_j} = \begin{cases} 1.00, \text{ якщо } \mu_{W_{DEFC}}^{10}(DE_q, FC_j) = 1.00 \\ 0.00, \text{ якщо } \mu_{W_{DEFC}}^{11}(DE_q, FC_j) = 1.00 \\ 0.00, \text{ якщо } \mu_{W_{DEFC}}^{12}(DE_q, FC_j) = 1.00 \end{cases} \quad (4.7)$$

Можливим діагнозам відповідають нечіткі значення  $\mu_{FC_j}$ , такі, що:

$$\varepsilon \leq \mu_{FC_j} \leq 0.99, \mu_{FC_j} = \max[\mu_{W_{DEFC}}^1(DE_q, FC_j); \mu_{W_{DEFC}}^4(DE_q, FC_j); \\ \mu_{W_{DEFC}}^{10}(DE_q, FC_j)], \text{ якщо } (\varepsilon \leq \mu_{W_{DEFC}}^1(DE_q, FC_j) \leq 0.99 \quad (4.8) \\ \text{ або } \varepsilon \leq \mu_{W_{DEFC}}^4(DE_q, FC_j) \leq 0.99 \text{ або } \varepsilon \leq \mu_{W_{DEFC}}^{10}(DE_q, FC_j) \leq 0.99).$$

Оскільки значення  $\mu_{FC_j}$  не залежать від числа правил, які можуть бути використані для підтримки FC<sub>j</sub>, то може бути введена евристична функція, що враховує число критеріїв, присутніх, або частково присутніх, які передбачають, але не підтверджують істинність діагнозу FC<sub>j</sub>. Таким чином ця функція обчислює відповідне число точок PNR<sub>FC<sub>j</sub></sub>. Ці значення корисні тоді, коли треба робити вибір між різними можливими діагнозами, хоча кінцевою ціллю повинно бути одержання підтверженого діагнозу. Число точок PNR<sub>FC<sub>j</sub></sub> обчислюється таким чином:

$$\begin{aligned} \text{PNR}_{\text{FCj}} = 100 \sum \{ & \alpha \min[\mu_{\text{WDEOB}}(\text{DE}_q, \text{OB}_i); \mu_{\text{W}^f \text{OBFC}}(\text{OB}_i, \text{FC}_j)] + \\ & + \beta \min[\mu_{\text{WDEOB}}(\text{DE}_q, \text{OB}_i); \mu_{\text{W}^{\text{cd}} \text{OBFC}}(\text{OB}_i, \text{FC}_j)] \}, \end{aligned} \quad (4.9)$$

де  $k^*$  - число спостережень по дефекту  $\text{DE}_q$ , які виникають при означенні  $\text{FC}_j$ , а  $\alpha + \beta = 1.00$ . Ми приймаємо  $\alpha = 0.09$  і  $\beta = 0.91$ , тобто степінь підтвердження береться в десять разів більш значимою, ніж частота появи по відношенню до значення  $\text{PNR}_{\text{FCj}}$ . Множення суми на 100 виконується для того, щоб досягти одержання легких для читання і запам'ятовування значень числа точок. Те чи прийме спеціаліст-експерт діагноз ЕС у великій степені залежить від здатності системи пояснити одержані нею результати. За запитом користувача надається інформація, що додатково пояснює підтверджені і можливі діагнози. Ця інформація має вигляд назв дефектів, їх означень, відповідних їм вимірних нечітких значень.

Однією із основних цілей побудови ЕС є забезпечення можливості ітеративних консультацій, що починаються з простих і легко доступних даних. Як правило, на основі цих даних може бути виведено число можливих діагнозів, а далі для підтвердження, або виключення цих гіпотез потрібно подальше дослідження. ЕС використовує інформацію, що зберігається в базі даних, для того, щоб робити припущення про форму, яку повинні приймати ці додаткові дослідження. Очевидно, що спостереженнями для подальшого дослідження є саме ті спостереження, які повинні підтвердити, або виключити певний діагноз. Крім того, вказуються ті спостереження, які можуть перевести на більш високий рівень в ранжованому списку всіх можливих діагнозів даний можливий діагноз.

Підтверджені діагнози і будь-які інші можливі діагнози в сукупності повинні пояснювати будь-яке спостереження чи результат лабораторного дослідження. Непояснені дані означають, як правило, що необхідно дослідити додатково певну сукупність об'єктів.



### 4.3 Побудова бази знань

Кожен виділений об'єкт предметної області має певні характеристики та властивості. Наприклад, для об'єкту точка вимірювання типовими атрибутами є дефект та значення амплітуд з гармоніки 1, 2 і т. і. Атрибути приймають певні значення. Так, дефект – розцентровка, гармоніка 1 може приймати значення 1.2, гармоніка 2 – 0.54 і т. і.

В таблиці 4.1 наведено опис об'єкту точки вимірювання.

Таблиця 4.1 – Представлення фактів з допомогою триплетів О - А - З

Об'єкт	Атрибут	Значення
Точка вимірювання	назва	Підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти
Точка вимірювання	розцентровка	Розцентровка валів компресора і електродвигуна
Точка вимірювання	гармоніка 1	1.2
Точка вимірювання	гармоніка 2	0.54

Використання триплетів О-А-З для опису реальних об'єктів не враховує власне характер і вид взаємов'язків, які можуть мати причинно-наслідковий характер, чи бути відношеннями типу «частина-ціле» і т. і. На форму зв'язків не встановлюється ніяких обмежень.

Опис властивостей конкретного об'єкту здійснюється через використання пар атрибут-значення (А-З) (таблиця 4.2).

Відношення між окремими характеристиками об'єктів представлено у вигляді таблиць, в яких кількість стовбців відповідає степені відношення, а один рядок дорівнює відповідному кортежу.

Дані про кожний об'єкт, що описується в таблиці (про кожну точку вимірювання), займають один цілий рядок. Структура всіх рядків співпадає. Степінь відношення  $n$  вказує на те, що описуються однотипні об'єкти, що

мають по n атрибутів. Якщо система зустріне в базі знань відношення A і B з степенями відповідно 5 і 7, то вона розуміє, що мова йде про різнотипні об'єкти, один з яких має 5, а другий 7 атрибутів.

Таблиця 4.2 – Представлення фактів з допомогою пар A-3.

Атрибут	Значення
назва	Підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти
розцентровка	Розцентровка валів компресора і електродвигуна
гармоніка 1	1.2
гармоніка 2	0.54

В таблиці 4.3 зображено відношення, куди записані відомості про кілька точок вимірювання, по яких працюватиме система.

Таблиця 4.3 – Фрагмент відношення степеня 4

Точка вимірювання	Назва дефекту	Гармоніка 1	Гармоніка2
Підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти	Розцентровка	1.2	0.54
Підшипникова стійка вентилятора з боку муфти	Розцентровка	11	19.58
Підшипник вентилятора з боку приводу	Дефект підшипника	0.31	0.15
• • •	• • •	• • •	• • •

Відношення точок вимірювання - це одна із поіменованих таблиць. Ім'я таблиці (в даному випадку "Точка вимірювання") визначаються смисловим відношенням. Степінь відношення дорівнює кількості стовпців таблиці.

Як ефективні засоби збереження фактів використовуються правила зі змінними величинами. Змінні в правилах замінюють певну сукупність фактів. Розглянемо наступні правила :

Якщо

гармоніка1  $\geq 1.2$  і

гармоніка2  $\geq 0.54$

то

розцентровка валів компресора і електродвигуна.

Якщо

гармоніка1  $\geq 21.08$  і

гармоніка2  $\geq 0.498$

то

Розцентровка валів редуктора і проміжного валу.

Через використання змінних ці правила можна об'єднати в одне:

Якщо

Точка вимірювання має характеристику X

і точка вимірювання має характеристику Y

то

дефект - Z.

Для правил із змінними будують реляційні таблиці, в яких містяться фактичні значення змінних.

В таблиці 4.4 описується вся та інформація, що і в вихідних правилах. Назва таблиці відповідає назві абстрактного об'єкту, а заголовки стовбців - атрибутам об'єкту.

Використання фреймів дозволяє об'єднувати всі характеристики окремого об'єкту в одну групу і маніпулювати з нею, як з єдиним цілим.

Фрейму присвоюється ім'я, що співпадає з назвою об'єкту, який він описує. Фрейм складається з слотів. Вся наявна інформація про об'єкт структурується і її окремі компоненти записуються в слоти.

В таблиці 4.5, як приклад показано фрейм, з допомогою якого описується абстрактна категорія "точка вимірювання".

Таблиця 4.4 – Опис об'єкту “дефект”

Дефект (Механічна причина)	Характеристика X	Характеристика Y
Розцентровка валів компресора і електродвигуна	гармоніка1 $\geq 1.2$	гармоніка2 $\geq 0.54$
Розцентровка валів редуктора і проміжного валу	гармоніка1 $\geq 21.08$	гармоніка2 $\geq 0.498$
Нормальний режим роботи газоперекачувального агрегату	гармоніка1 $\geq 0.39$	гармоніка2 $\geq 0.16$

Таблиця 4.5 – Фрейм "точка вимірювання"

Фрейм: точка вимірювання	
назва точки вимірювання	?
Дефект	?
Гармоніка 1	?
Гармоніка 2	?
Діагностування	Діагностування
Оцінка (механічна причина)	Нормальний режим роботи, гармоніка1 $\geq 0.39$

Фрейм містить інформацію, загальну для всіх точок вимірювання. Символ "знак питання" означає, що вмістиме слоту ще невідоме системі.

Верхня частина фрейму призначена для зберігання фактичної інформації. Відповідні слоти можна було би без проблем записати у вигляді триплетів O-A-3 чи n-x відношень. Заповнювачем слоту "діагностування" є посилання на інший фрейм.

#### 4.4 Побудова внутрішніх правил

Відомо, що доступна експерту інформація про нафтогазові об'єкти і взаємозв'язки між ними в загальному випадку є суттєво невизначеною. Тим не менше експерт все-таки здатний робити певні логічні висновки на основі цієї інформації.

Наші знання про реальний світ характеризуються неповнотою, неточністю і неузгодженістю. Застосування теорії нечітких множин робить можливим означення неточних нафтогазових об'єктів, як нечітких множин. Вона пропонує лінгвістичний підхід, що уявляє собою ефективне наближення нафтогазових текстів.

Точність існує тільки за допомогою абстракції. Абстракція може бути означена, як здатність людини розпізнавати і вибирати потрібні властивості явищ і об'єктів реального світу. Це приводить до побудови концептуальних моделей, що визначають абстрактні класи явищ і об'єктів. Тим не менше, в дійсності кожне явище, кожний об'єкт реального світу є унікальним.

Абстрактні моделі явищ і об'єктів реального світу, такі, як математичні структури, рівності і висловлювання являють собою штучні конструкції. Вони уявляють собою ідеальні структури, ідеальні рівності, ідеальні висловлювання.

В нафтогазовій справі немає потреби розглядати мікроявища і мікрооб'єкти, щоб зіткнутися з проблемами неповноти, невизначеності і неузгодженості. Недостатня кількість інформації, її неточність і суперечлива природа є дуже важливим фактом.

Розглядаються чотири класи об'єктів:

- спостереження, ознаки, результати діагностування і одержані дані( $OB_i$ );
- гіпотези і сценарії( $FC_j$ );
- проміжні комбінації ( $IC_k$ );
- комбінації спостережень ( $OC_l$ ).

Спостереження  $OB_i$  приймають значення  $\mu_{OB_i}$  із  $[0,1] \cup \{v\}$ . Значення  $\mu_{OB_i}$  показує, в якій степені проявляються спостереження  $OB_i$ . Після цього будується бінарне нечітке відношення  $W_{\rho_{OB}} \subset \Pi \times \Sigma$ , що визначається умовою  $\mu_{W_{deob}}(DE_q, OB_i) = \mu_{OB_i}$  для точки вимірювання  $DE_q$ , де  $DE_q \in \Pi$  ( $\Pi = \{DE_1, \dots, DE_r\}$ ) і  $OB_i \in \Sigma$  ( $\Sigma = \{OB_1, \dots, OB_m\}$ ).

Діагнози також приймають значення із  $[0, 1] \cup \{v\}$ . Нечіткі значення  $0 < \mu_{FC_i} < 1.00$  уявляють собою можливі діагнози, тоді як значення  $\mu_{FC_i} = 1.00$  і  $\mu_{FC_i} = 0.00$  відповідають підтвердженому діагнозу і непідтвердженому діагнозу відповідно. Ще не розглянуті діагнози приймають значення  $\mu_{FC_i} = v$ . Формально будується відношення  $W_{DEFC} \subset \Pi \times \Delta$ , що визначається умовою  $\mu_{W_{defc}}(DE_q, FC_j) = \mu_{FC_j}$  для точки вимірювання  $DE_q$ , де  $FC_j \in \Delta (\Delta = \{FC_1, \dots, FC_n\})$ .

Обидва об'єкти, що розглядаються: проміжні комбінації і комбінації спостережень – приймають значення  $\mu_{Ick}$  і  $\mu_{OCl}$  відповідно із  $[0, 1] \cup \{v\}$ , де  $v$  означає, що дійсне значення ще не визначено. Відношення  $R_{DEOBC} \subset \Pi \times K$  задається умовою  $\mu_{W_{deobc}}(DE_q, OC_1) = \mu_{OBC_1}$  для точки вимірювання  $DE_q$ , де виконується  $OC_1 \in K (K = \{OC_1, \dots, OC_l\})$ , і  $W_{DEOBC}$  формально описує комбінації спостережень по даній точці вимірювання.

Нечіткі логічні зв'язки визначаються наступним чином :

$$Z_1 \wedge Z_2 = \min\{Z_1, Z_2\}, \text{ якщо } Z_1 \in [0, 1] \text{ і } Z_2 \in [0, 1];$$

$$Z_1 \wedge Z_2 = v, \text{ якщо } Z_1 = v \text{ і/або } Z_2 = v;$$

$$Z_1 \vee Z_2 = \max\{Z_1, Z_2\}, \text{ якщо } Z_1 \in [0, 1] \text{ і } Z_2 \in [0, 1];$$

$$Z_1 \vee Z_2 = Z_1, \text{ якщо } Z_1 \in [0, 1] \text{ і } Z_2 = v;$$

$$Z_1 \vee Z_2 = Z_2, \text{ якщо } Z_1 = v \text{ і } Z_2 \in [0, 1];$$

$$Z_1 \vee Z_2 = v, \text{ якщо } Z_1 = v \text{ і } Z_2 = v;$$

$$\bar{Z}_1 = 1 - Z_1, \text{ якщо } Z_1 \in [0, 1];$$

$$\bar{Z}_1 = v, \text{ якщо } Z_1 = v.$$

Слід відмітити, що введення величини  $v$  для відсутніх операндів, яка обов'язково повинна бути включена в означення зв'язок і заперечення із практичних міркувань, призводить до порушення деяких законів (наприклад, законів де Моргана). Ці закони справедливі для класичних нечітких зв'язок  $Z_1 \wedge Z_2 = \min\{Z_1, Z_2\}$ ,  $Z_1 \vee Z_2 = \max\{Z_1, Z_2\}$  по відношенню до заперечення  $\bar{Z}_1 = 1 - Z_1$ , але тепер вони втрачають силу.

Між нафтогазовими об'єктами розглядаються такі відношення:

- відношення спостереження-діагноз( $OB_i FC_j$ );
- відношення комбінація спостережень-діагнозів( $OC_i FC_j$ );
- відношення спостереження-спостереження ( $OB_i OB_j$ );
- відношення діагноз-діагноз ( $FC_i FC_j$ ).

Ці відношення характеризуються наступними двома параметрами:

- частота появи ( $f$ );
- степінь підтвердження ( $cd$ ).

Відношення між нафтогазовими об'єктами задаються у вигляді правил відношення з відповідними їм парами відношень. Загальне формулювання такого правила має вигляд:

ЯКЩО (антецедент) ТО (консеквент) ПРИ ( $f, cd$ )

Пари відношення ( $f, cd$ ) містять або числові значення  $\mu_f$  і  $\mu_{cd}$ , або лінгвістично нечіткі значення  $\lambda_f$  і  $\lambda_{cd}$ , або і ті і інші. Характерні значення корисні в тому смислі, що вони роблять нечіткий висновок легко здійснюваним. Нижче наведені деякі приклади правил відношень.

Приклад 1:

ЯКЩО (гармоніка1  $\geq 0.39$ )

ТО (Нормальний режим роботи газоперекачувального агрегату)

ПРИ (0.75 = часто, 0.25 = слабо)

Приклад 2:

ЯКЩО (гармоніка1  $\geq 3.38$ )

ТО (дефект – розцентровка валів редуктора і електродвигуна)

ПРИ (0.25 = рідко, 1.00 = завжди)

Приклад 3:

ЯКЩО

(гармоніка1  $\geq 1.2$

$\wedge$  гармоніка2  $\geq 0.54$   $\wedge$  гармоніка3  $\geq 0.49$

$\wedge$  гармоніка4  $\leq 0.23$   $\wedge$  гармоніка5  $\leq 0.04$ )

ТО

(дефект – розцентровка валів компресора і електродвигуна)

ПРИ

( $v, 0.90 =$  дуже сильно)

Значення  $\mu_f$  і  $\mu_{cd}$  інтерпретуються, як значення нечітких відношень між антецедентами і консеквентами. Так:

$OB_iFC_j$ (відношення появи)	$W_{OBFC}^f \subset \Sigma \times \Delta$
$OB_iFC_j$ (відношення підтвердження)	$W_{OBFC}^{cd} \subset \Sigma \times \Delta$
$OC_iFC_j$ (відношення появи)	$W_{OBCFC}^f \subset K \times \Delta$
$OC_iFC_j$ (відношення підтвердження)	$W_{OBCFC}^{cd} \subset K \times \Delta$
$OB_iOB_j$ (відношення появи)	$W_{OBOB}^f \subset \Sigma \times \Sigma$
$OB_iOB_j$ (відношення підтвердження)	$R_{OBOB}^{cd} \subset \Sigma \times \Sigma$
$FC_iFC_j$ (відношення появи)	$R_{FCFC}^f \subset \Delta \times \Delta$
$FC_iFC_j$ (відношення підтвердження)	$R_{FCFC}^{cd} \subset \Delta \times \Delta$

Система набуття знань здатна одержувати інформацію про нафтогазові об'єкти і відношення між ними. Відношення зберігаються у вигляді числових значень із проміжку  $[0, 1]$ . Інформація може бути одержана одним із двох способів:

- а) з допомогою числових або лінгвістичних оцінок, що одержуються від спеціалістів-експертів;
- б) шляхом статистичного оцінювання бази знань, що містить інформацію про нафтогазові об'єкти з підтвердженими результатами діагнозів.

Інформація про відношення може бути зібрана в числовому або лінгвістичному вигляді з використанням наперед визначених лінгвістичних значень для означення параметрів, таких як частота появи  $f$  і степінь підтвердження  $cd$  (таблиця 4.6). Таким чином можуть бути одержані емпіричні знання, що спираються на міркування, і визначаючі знання.

Ці відношення мають ту важливу властивість, що вони можуть бути інтерпретовані статистично.



Таблиця 4.6 – Лінгвістичні нечіткі значення

Частота появи			Степінь підтвердження		
Значення $\lambda_f$	Інтервал	Характер не значення $\mu_f$	Значення $\lambda_{cd}$	Інтервал	Характер не значення $\mu_{cd}$
завжди	[1.00, 1.00]	1.00	завжди	[1.00, 1.00]	1.00
майже завжди	[0.98, 0.99]	0.99	майже завжди	[0.98, 0.99]	0.99
дуже часто	[0.83, 0.97]	0.90	дуже сильно	[0.83, 0.97]	0.90
часто	[0.68, 0.82]	0.75	сильно	[0.68, 0.82]	0.75
середнє	[0.33, 0.67]	0.50	середнє	[0.33, 0.67]	0.50
рідко	[0.18, 0.32]	0.25	слабо	[0.18, 0.32]	0.25
дуже рідко	[0.03, 0.17]	0.10	дуже слабо	[0.03, 0.17]	0.10
майже ніколи	[0.01, 0.02]	0.01	майже ніколи	[0.01, 0.02]	0.01
ніколи	[0.00, 0.00]	0.00	ніколи	[0.00, 0.00]	0.00
невідомо		v	невідомо		v

Частоти появи  $f$  і степінь підтвердження  $cd$  становить:

$$\mu_f = G(OB_i \cap FC_j) / G(FC_j) = G(OB_i / FC_j), \quad (4.10)$$

$$\mu_{cd} = G(OB_i \cap FC_j) / G(OB_i) = G(FC_j / OB_i), \quad (4.11)$$

де  $G(OB_i \cap FC_j)$  - абсолютна частота появи  $OB_i$  і  $FC_j$ ;

$G(FC_j)$  - абсолютна частота появи  $FC_j$ ;

$G(OB_i)$  - абсолютна частота появи  $OB_i$ ;

$G(OB_i / FC_j)$  - умовна частота  $OB_i$  при умові  $FC_j$ ;

$G(FC_j / OB_i)$  - умовна частота  $FC_j$  при умові  $OB_i$ .

З допомогою означень (4.10) і (4.11) розширене статистичне оцінювання відомих відношень між нафтогазовими об'єктами, або ще не визначених

відношень може бути здійснено шляхом використання даних про вже діагностовані і вивчені дефекти.

В таблиці 4.7 присутні декілька типів значень атрибута: точні значення, інтервальні значення, нечіткі значення(наприклад, “високе”, “біля 9”, “середнє”) і невизначені значення. Неточні значення атрибута відповідають або частковому (неповному, або нечіткому) знанню, або грубою оцінкою.

Таблиця 4.7 – Зведена таблиця числового і лінгвістичного оцінювання точок вимірювання.

Точка вимірювання	A	B	C	D	E
Підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти	7.0	досить низьке	досить високе	невідомо	[40-43]
Підшипникова стійка вентилятора з боку муфти	біля 8.0	[0.7-0.9]	високе	низьке	41
Підшипникова стійка вентилятора з боку вільного кінця	[6.9- 8.1]	0.8	[9-10]	середнє	біля 42
Корпус редуктора	низьке	досить високе	дуже високе	[0.005-0.013]	[41-44]
Підшипник вентилятора з боку приводу	біля 7.6	біля 1	низьке	дуже високе	досить високе
Підшипник дробарки з боку вільного кінця	середнє	[0.7-0.8]	9.5	високе	низьке
Корпус підшипника провідного валу з боку вільного кінця	[7.9- 8.7]	невідомо	біля 9	0.0075	середнє

Де А – гармоніка 1, В – гармоніка 2, С - гармоніка 3, D – гармоніка 4, E – гармоніка 5.

В таблиці 4.8 область значень атрибута ТИП дискретна:

$D_{\text{тип}} = \{a, b, c, d\}$ , де кожне число відповідає певному типу характеристик. Той факт, що тут наявні області двох типів (неперервні і дискретні), тягне за собою два способи представлення функцій розподілу можливостей.

Таблиця 4.8 – Відношення з кількома атрибутами.

характеристика1	характеристика2	Дефект (Механічна причина)
гармоніка 1	гармоніка 2	Дефект 1
гармоніка 1	гармоніка 2	Дефект 2
гармоніка 1	гармоніка 2	Дефект 3
гармоніка 1	гармоніка 2	Дефект 4
гармоніка 1	гармоніка 2	Дефект 5

Л. Заде запропонував оцінювати степінь належності числами із інтервалу  $[0, 1]$ . Фіксування конкретних значень при цьому носить суб'єктивний характер. Важливим є як характер змін, так і тип шкали, в якій одержують інформацію від експерта.

При проектуванні інформаційної системи “ESTA” адаптували і модифікували метод інтервальних оцінок запропонований в роботі Л. Заде.

Припустивши, що степені належності нам відомі, наприклад у вигляді  $\mu_{\text{ОВ}}(v_i) = \xi_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ ), то попарні порівняння можна представити матрицею відношень  $C=((c_{ij}))$ ,  $c_{ij}=\xi_i/\xi_j$ .

Так, як відношення порівняння в реальному світі неточні через свою емпіричність, то потрібно обчислювати окремі оцінки для  $\xi$ . В процесі рішення задачі формується матриця порівнянь розглядуваної множини елементів. Елементи матриці показують наскільки один елемент краще іншого. При формуванні оцінок попарних порівнянь від експерта вимагається вираження досвіду у вигляді:

- встановити який із двох даних елементів є більш важливим ;
- оцінити сприйняття інтенсивності розрізнення в виді рангу важливості по відповідній шкалі.

Розглядаючи поняття “клас  $F$ ”, яке описується функцією належності на множині об’єктів  $C = \{c^0, \dots, c^{m-1}\}$ . В  $C$  є тільки два об’єкти  $c^k$   $c^l$  про які можна сказати, що  $c^k$  ідеальний представник тих об’єктів, які належать  $C$ , а  $c^l$  ідеальний представник тих об’єктів, що не належать цьому поняттю. Завдання експерта полягає в ранжуванні об’єктів відповідно до їх належності, чи не належності описаному поняттю. Результиуюча матриця попарних порівнянь задає порядок пар об’єктів по степенях відмінностей в парах.

На другому етапі визначається та максимальна кількість класів, яка може бути описана даним набором параметрів. Для кожного елемента  $v$  значення функції належності класу  $F_1$  доповнює до одиниці значення функції належності класу  $F_2$ . Таким чином система класів повинна складатися із класів, що представляють протилежні події. Сума значень функції належності довільного елемента  $v$  до системи таких класів буде дорівнювати одиниці. В випадку, коли число класів і їх склад чітко невизначений, то вводиться додатковий віртуальний клас, що включає всі не виявлені класи. Завдання експертів полягає в процентній оцінці степені прояву кожного класу в конкретному стані  $v$ .

Вибірку об’єктів доцільно брати такою, щоб рівномірно представити степені належності від 0 до 1, по відношенню до розглядуваної нечіткої множини. При цьому повинні бути присутні по крайній мірі два об’єкти степені належності яких рівні відповідно 0 і 1. В результаті опитування експертів утримується процентна оцінка степенів належності.

Нехай інтервал  $[y_{ml}, y'_{ml}]$  відображає думку  $l$ -го експерта ( $l=1, \dots, n_1$ ) про значення  $m$ -ї ( $m=1, \dots, n_2$ ) ознаки оцінюваного поняття ОВ. Повний опис цього поняття  $l$ -им експертом представлятиметься у вигляді

$$\Omega_l = [y_{1l}, y'_{1l}] \times \dots \times [y_{n2l}, y'_{n2l}] \quad (4.12)$$

Нижче наведений алгоритм, що дозволяє обчислювати коефіцієнти компетентності експертів, а також приводити вихідну “розмиту” функцію, що являє собою середнє значення експертних оцінок до характеристичної функції нерозмитої чіткої множини:

1. Для кожної ознаки  $m$  розглядаються всі інтервали, що запропоновані експертами, знаходять їх об'єднання, які складається з інтервалів, що не перетинаються:

$$[y_{mk}, y'_{mk}], (m=1, \dots, n1; k=1, \dots, n2) \quad (4.13)$$

2. На основі одержаних множин будуюмо результуючу множину  $Z_k$ :

$$Z_k = [y_{1k}, y'_{1k}] \times \dots \times [y_{nk}, y'_{nk}], k=1, \dots, n2 \quad (4.14)$$

3. Обчислюємо для  $x \in Z_k$ :

$$\xi_l(y) = \begin{cases} 1, Z_k \cap \Omega_l \neq \emptyset \\ 0, Z_k \cap \Omega_l = \emptyset \end{cases} \quad (4.15)$$

4. Приймаємо номер ітерації  $in=1$ ;

5. Вводимо коефіцієнти компетентності для експертів:

$$\{CC_l^{in}\}_{l=1}^{n1} = \{1/n1\}_{l=1}^{n1} \quad (4.16)$$

6. Обчислюємо наближення функції належності при нормованих значеннях:

$$CC_l : \sum CC_l^{ni} = 1, f^{in}(y) = \sum_{l=1}^{n1} \varphi_l(y) * CC_l^{in}, y \in Z_k \quad (4.17)$$

7. Обчислюємо функціонал неузгодженості думки  $l$ -го експерта з думкою групи експертів на  $in$  – ітерації:

$$FD_l^{in} = \sum_{y \in Z_k} [f^{in}(y) - \varphi_l(y)]^2, l = 1, \dots, n1 \quad (4.18)$$

8. Обчислюємо:

$$\Phi = \sum_{l=1}^{n1} 1/FD_l^{in} \quad (4.19)$$

9. Збільшуємо крок ітерації на одиницю.

10. Обчислюємо:

$$CC_i^{in} = \Phi / FD_i^{in-1} \quad (4.20)$$

11. Якщо тепер величина  $\max|CC_i^{in-1} - CC_i^{in}|$  близька до нуля, то ітераційний процес припиняється і за наближення функції належності приймається  $f(y)=\mu_s(y)$ , в протилежному випадку виконується перехід до пункту б.

## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розробка структури та алгоритму програмного забезпечення

Для розробки програмного забезпечення створюємо схему загальної структури ЕС (рис. 5.1) та схему побудови внутрішніх правил ЕС (рис. 5.2).

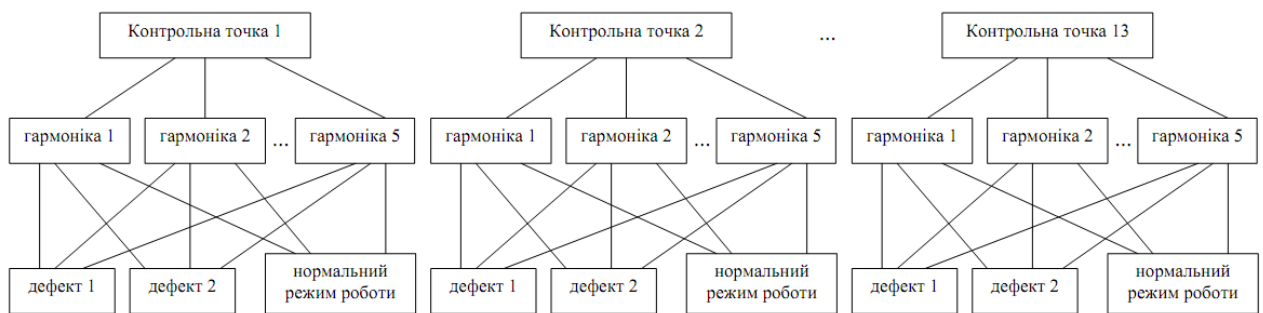


Рисунок 5.1 - Схема загальної структури ЕС

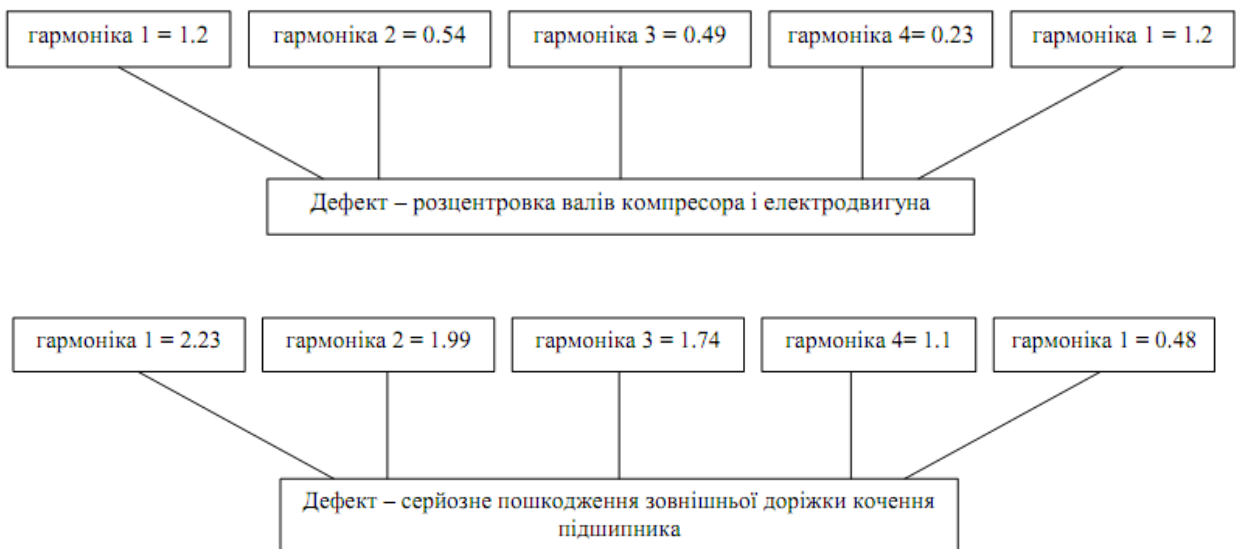


Рисунок 5.2 - Схема побудови внутрішніх правил ЕС

Для розробки програми розробляємо блок-схему діагностування ГПА, що представлена на рисунку 5.3.

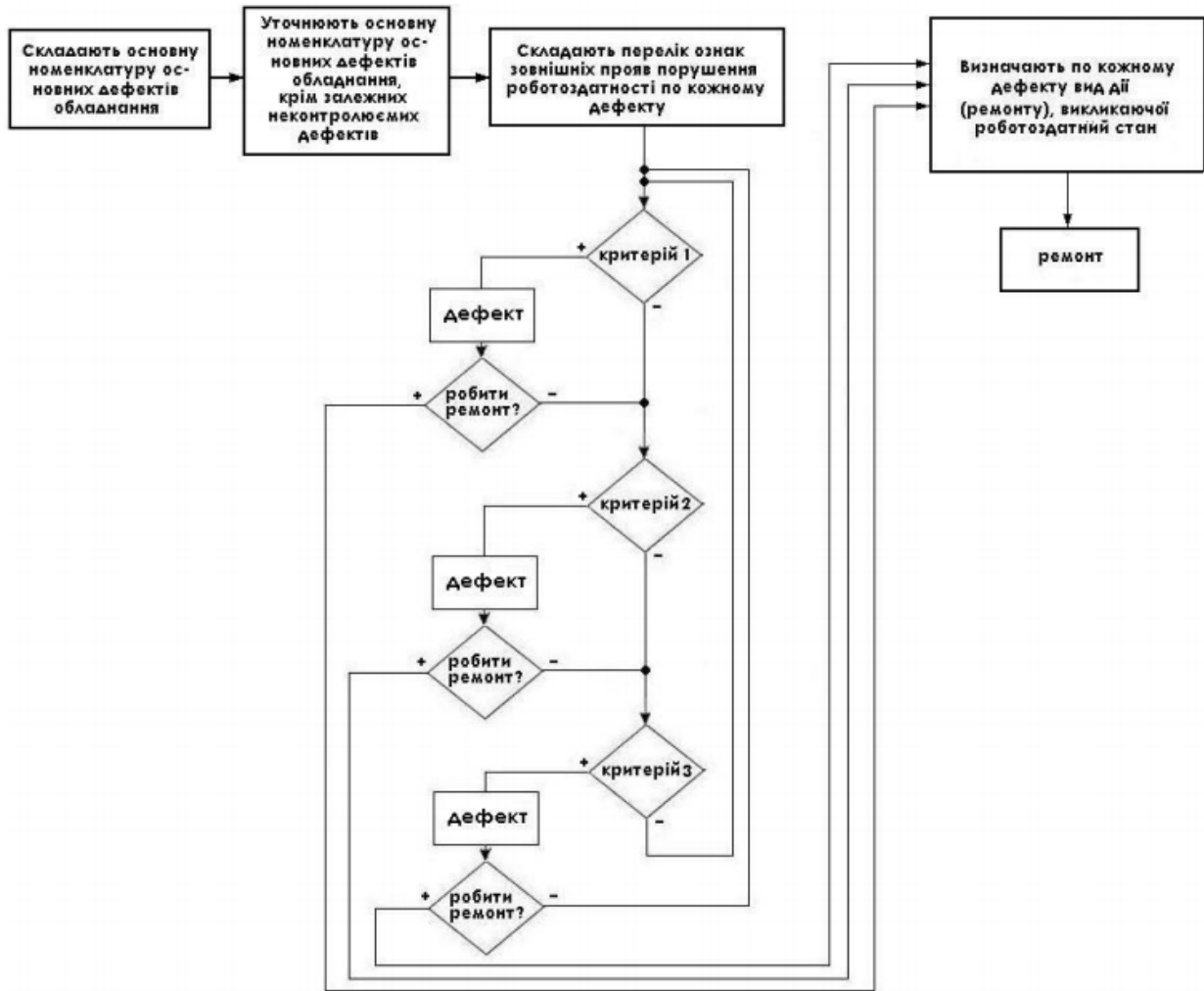


Рисунок 5.3 - Блок-схема діагностування ГПА

Текст розробленої програми представлено в додатках А та Б.

## 5.2 Апробація системи

Приклад роботи програмного забезпечення експертної системи приведено на рисунках 5.4 -5.10.

Кроки роботи програми:

1. Вибір контрольної точки вимірювання (рис.5.4).
2. Вибір мети консультації (рис.5.5).



3. Ввід значення гармоніки (рис.5.6).
4. Вивід результатів (рис. 5.7- 5.10).

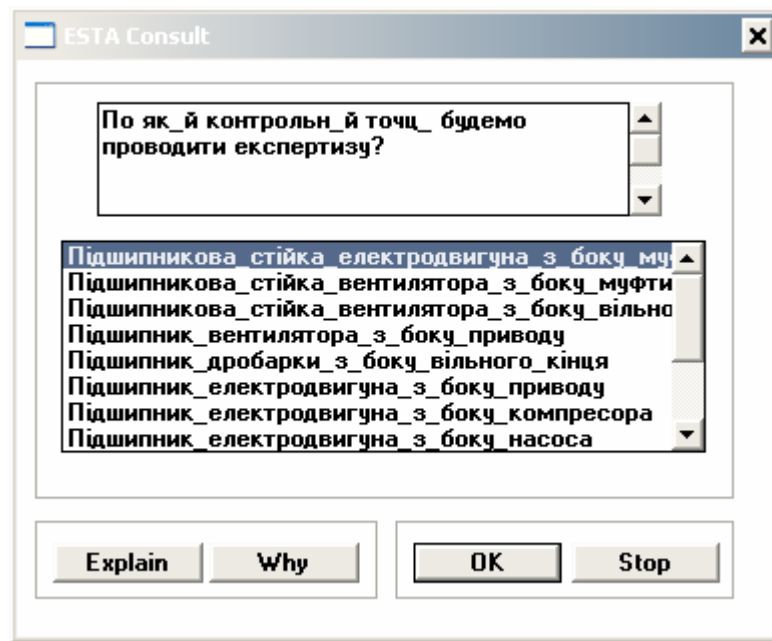


Рисунок 5.4 – Вибір контрольної точки вимірювання.

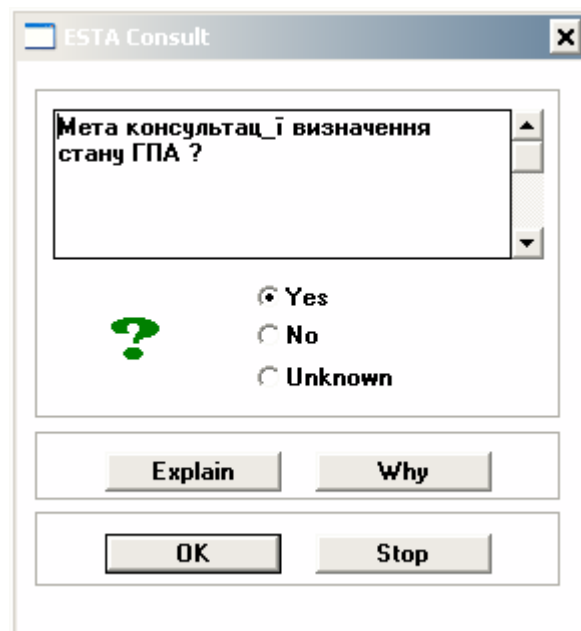


Рисунок 5.5 – Вибір мети консультації.

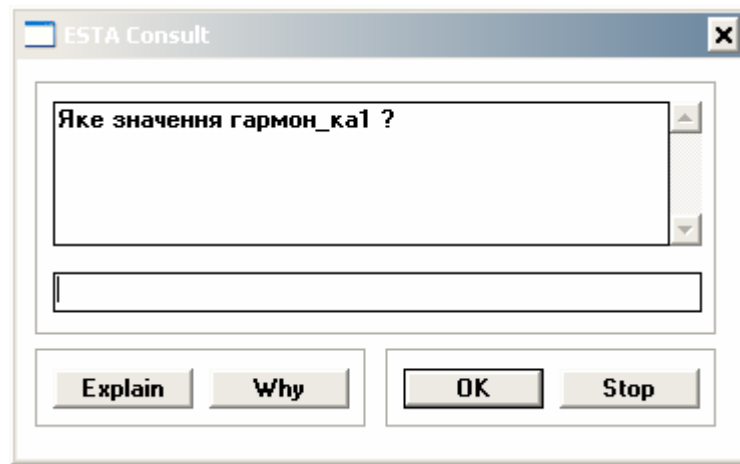


Рисунок 5.6 – Ввід значення гармоніки.

Точка вимірювання – підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти, значення амплітуди по гармоніках – 1.5, 0.58, 0.5, 0.23, 0.02 (рис.5.7).

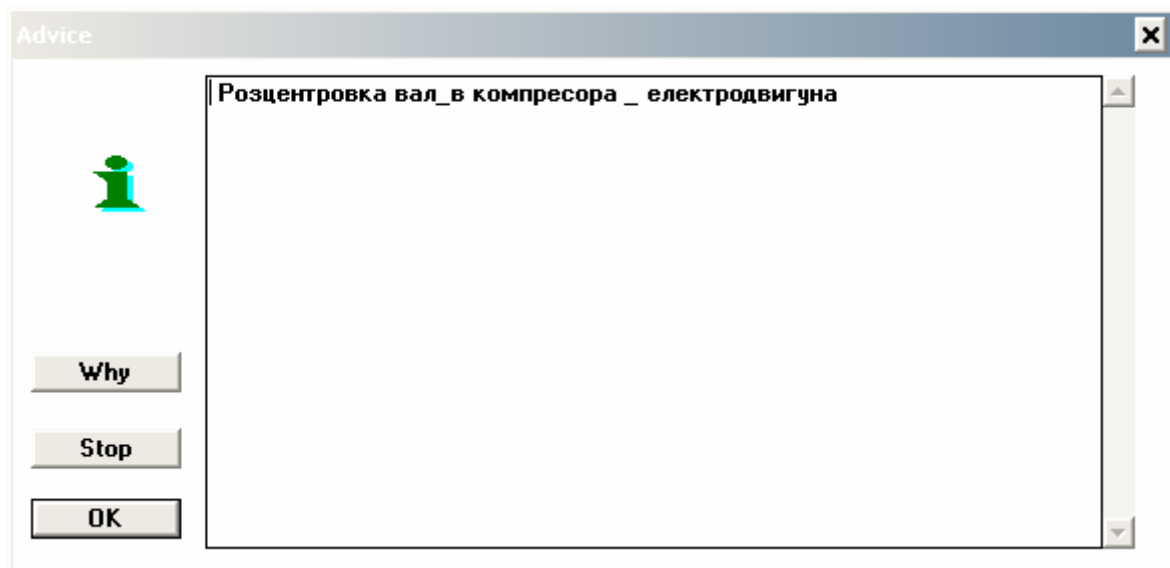


Рисунок 5.7 – Оцінка стану ГПА.

Точка вимірювання – підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти, значення амплітуди по гармоніках – 1.5, 0.58, 0.5, 0.23, 0.02. (рис.5.8).

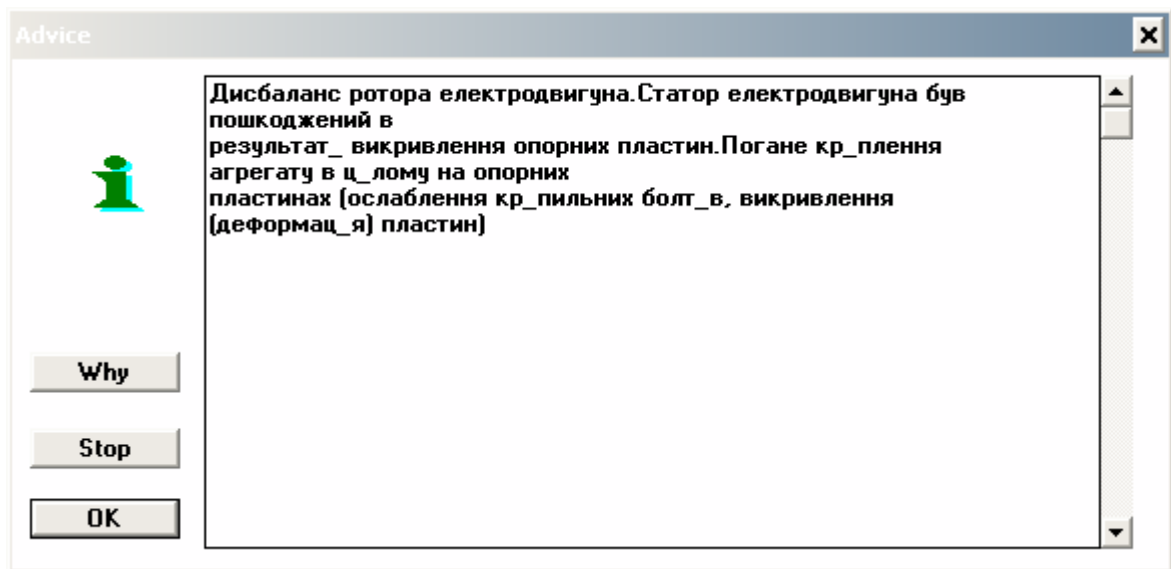


Рисунок 5.8 – Оцінка стану ГПА.

Точка вимірювання – Корпус редуктора, значення амплітуди по гармоніках – 2.9, 2.5, 3.52, 3.46, 3.51. (рис.5.9).

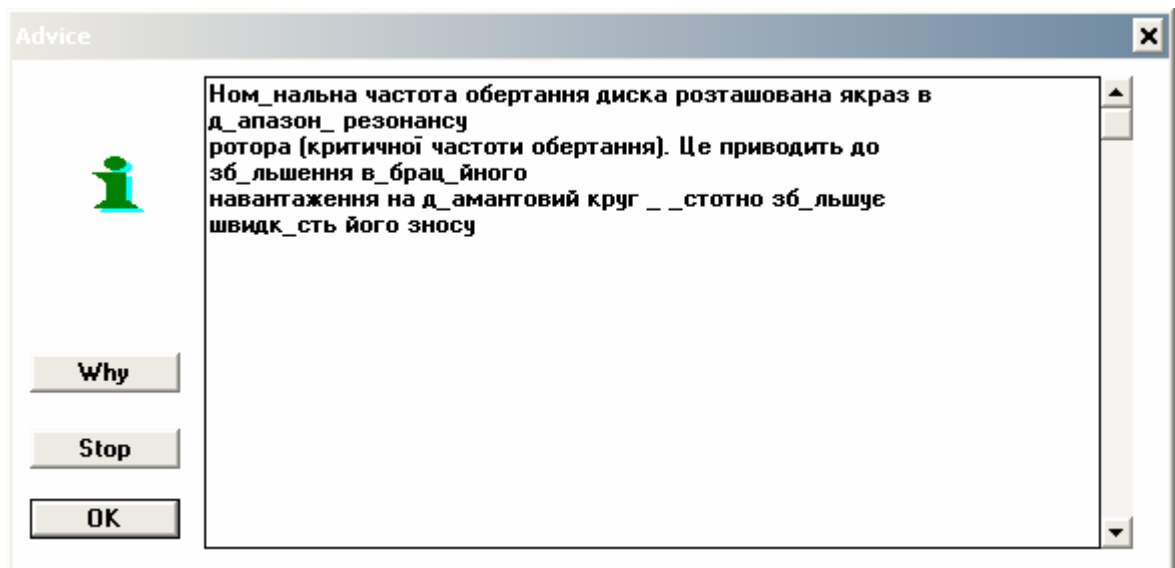


Рисунок 5.9 – Оцінка стану ГПА.

Точка вимірювання – підшипникова стійка вентилятора з боку вільного кінця, значення амплітуди по гармоніках – 0.15, 0.06, 0.37, 0.01, 0.02. (рис.5.10).

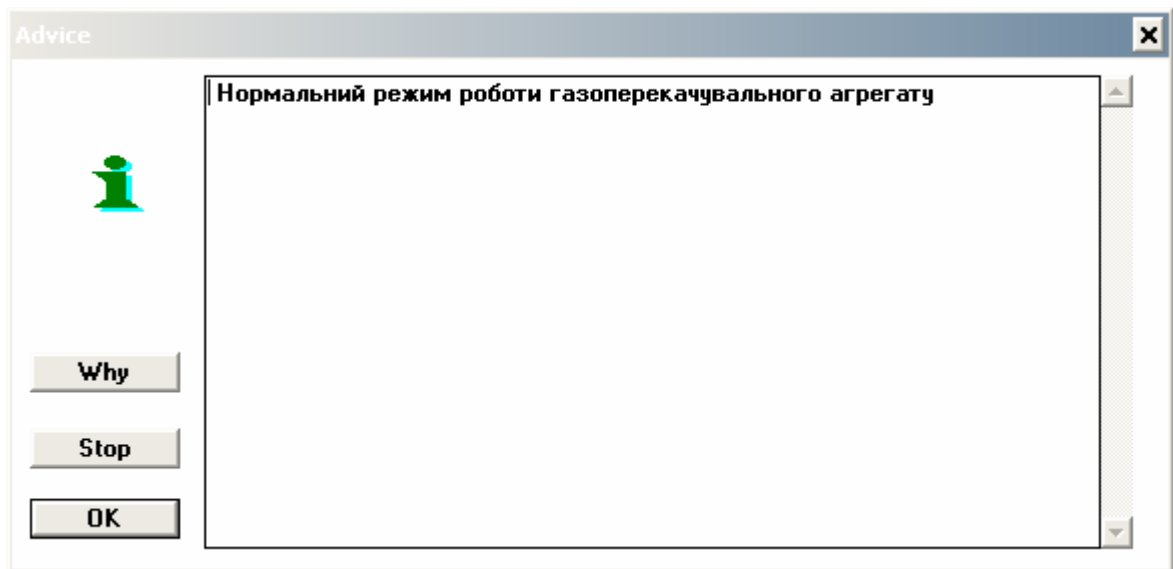


Рисунок 5.10 – Оцінка стану ГПА.

## **6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **6.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища**

Шкідливу дію на організм людини роблять шум, вібрація, інфразвук, а також дія електромагнітних полів та різних випромінювань (ультрафіолетових, інфрачервоних, світлових та іонізуючих), підвищену запиленість і загазованість повітря робочої зони, статичне навантаження.

Використання комп'ютерної техніки передбачає шкідливий вплив електромагнітного випромінювання (ЕМВ) від моніторів комп'ютерів. Ступінь дії цього виду випромінювання на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності дії відповідного фактора, тривалості опромінення, режиму опромінення, розмірів опроміненої поверхні тіла та індивідуальних особливостей організму. Біологічна дія ЕМВ низької частоти викликає функціональні порушення центральної нервової та серцево-судинної систем людини, а також деякі зміни в складі крові, особливо виражені при високій напруженості електромагнітного поля. Більш високі частоти ЕМВ можуть привести до підвищення температури тіла внаслідок переходу електромагнітної енергії в теплову. Довготривала хронічна дія ЕМВ невеликої інтенсивності приводить до різних нервових та серцево-судинних розладів (головного болю, втомленості, порушення сну і т.п.). Можливі порушення з боку ендокринної системи та зміни складу крові. Робота оператора ЕОМ, який обслуговує комп'ютерну техніку, теж пов'язана з фізичними недоліками організму. Людина, яка працює на ЕОМ, займається сидячою роботою в вимушеній позі з великою рухливістю кистей рук. Також ця робота потребує напруження зору, а значить приводить до болю в очах, а через напруження зору і до головних болей. Наслідком сидячої роботи є біль в області спини.

### **6.1.1 Основні вимоги до компресорних установок**

У приміщеннях компресорних установок не допускається розміщувати апаратуру і устаткування, технологічно і конструктивно не пов'язані з компресорами.

Не допускається розміщення компресорів в приміщеннях, якщо в суміжному приміщенні розташовані вибухонебезпечні і хімічно небезпечні виробництва, що викликають корозію устаткування і що шкідливо впливають на організм людини.

В окремих випадках компресорні установки продуктивністю до  $10\text{ м}^3/\text{хв.}$  з тиском повітря до  $8\text{ кгс/см}^2$  можуть встановлюватися в нижніх поверхах багатоповерхових виробничих будівель за наявності достатньої розрахункової міцності перекриттів, що забезпечує неможливість їх руйнування у разі аварій. Ці установки відділяються від виробничих ділянок глухими стінами, що не згорають.

Не допускається установка компресорних установок під побутовими, адміністративними і подібними ним приміщеннями.

Проходи в машинному залі повинні забезпечувати можливість монтажу і обслуговування компресора і електродвигуна і повинні бути не менше  $1,5\text{ м}$ , а відстань між устаткуванням і стінами будівель (до їх виступаючих частин) - не менше  $1\text{ м}$ .

Підлоги приміщення компресорної установки слід виконувати із зносостійкого матеріалу, що не згорає, рівними з нековзною поверхнею, маслостійкі.

Двері і вікна приміщення компресорної установки повинні відкриватися назовні.

У приміщенні компресорної установки слід передбачати майданчики для проведення ремонту компресорів, допоміжного устаткування і електроустаткування. Для виконання ремонтних робіт на компресорній установці приміщення слід обладнати відповідними вантажопідйомними пристроями і засобами механізації.

У приміщенні компресорної установки слід передбачати спеціальні місця для зберігання в закритому вигляді обтиральних матеріалів, інструменту, прокладок, а також для зберігання тижневого запасу масла.

Приміщення компресорної установки слід оснащувати вентиляцією відповідно до вимог нормативно-технічних документів по промисловій безпеці.

Канали і отвори в компресорному приміщенні слід закривати врівні з підлогою знімними плитами. Отвори, поглиблення і переходи, які не закриваються, слід захищати поручнями заввишки не менше 1м з розташованою внизу суцільним металевим зашиванням заввишки 15м. Підлоги майданчиків і ступеня сходів слід виготовляти з рифленої сталі.

Всі трубопроводи компресорної установки повинні відповідати вимогам нормативно-технічних документів по промисловій безпеці.

Машинний зал компресорної установки слід оснащувати засобами оперативною, зокрема диспетчерському зв'язку.

У машинному залі слід передбачити наявність аптечки першої допомоги і питної води.

Для зменшення впливу вібрацій, що викликаються роботою компресора, слід дотримувати наступні умови:

а) майданчики між суміжними фундаментами компресорів повинні бути вкладними, такими, що вільно спираються на фундаменти;

б) трубопроводи, що приєднуються до машини, не повинні мати жорсткого кріплення до конструкцій будівель; при необхідності застосування таких кріплень слід передбачати відповідні компенсуючі пристрої;

в) трубопроводи, що сполучають циліндри компресора з устаткуванням (буферні ємкості, проміжні холодильники), повинні забезпечувати компенсацію деформацій.

Температура повітря після кожного стиснення компресорів в нагнітальних патрубках не повинна перевищувати максимальних значень, вказаних в інструкції заводу-виготівника, а для компресорів технологічного призначення повинна відповідати передбаченою в технологічних регламентах.

Повітряні компресори продуктивністю більше  $10\text{м}^3/\text{хв}$ . слід обладнати холодильниками і вологомасловідділяючими приладами.

Всі рухомі частини компресорів, що обертаються, електродвигунів і інших механізмів необхідно захищати.

Для розвантаження електродвигуна при запуску компресора на нагнітальних лініях до повітрязбірника або газозбірника (до зворотних клапанів) слід встановлювати індивідуальні відгалуження із замочною арматурою для скидання повітря або газу або передбачати інші пристрої, що надійно діють.

Корпусу компресорів, холодильників і вологомасловідділячів необхідно заземляти.

Всі компресорні установки слід забезпечувати контрольно-вимірювальними приладами:

а) манометрами, що встановлюються після кожного ступеня стиснення і на лінії нагнітання після компресора, а також на повітрязбірниках або газозбірниках; при тиску на останньому ступені стиснення  $300\text{кгс}/\text{см}^2$  і вище повинні встановлюватися два манометри;

б) термометрами або іншими датчиками для вказівки температури стислого повітря або газу, встановлюваними на кожному ступені компресора, після проміжних і кінцевого холодильників, а також на сливі води. Вимір температури повинен проводитися стаціонарними ртутними (у металевому кожусі) або електричними термометрами і самописними приладами. Не допускається застосування переносних ртутних термометрів для постійного (регулярного) виміру температур;

в) приладами для вимірювання тиску і температури масла, що поступає для мастила механізму руху.

На повітрязбірниках або газозбірниках слід застосовувати манометри діаметром не менше 150 мм, класу точності не нижче 2,5.

Необхідно застосовувати манометри з такою шкалою, щоб при робочому тиску стрільця їх знаходилася в середній третині шкали. На циферблаті



манометра повинна бути нанесена червона межа по діленню, відповідному вищому робочому тиску, що допускається.

Манометри слід забезпечувати триходовим краном. При тиску вище 25 кгс/см<sup>2</sup> замість триходового крана вирішується установка окремого штуцера із замочним пристроєм для під'єднання другого манометра.

Не допускаються до застосування манометри у випадках, коли:

- а) відсутня пломба або клеймо;
- б) прострочений термін перевірки манометра;
- в) стрілка манометра при його виключенні не повертається до нульового свідчення шкали на величину, що перевищує половину допустимої погрішності для даного манометра;
- г) розбито скло або є інші пошкодження манометра, які можуть відбитися на правильності його свідчень.

Кожна точка виміру температури повинна мати окремий термометр. Точки вимірів визначаються проектом.

Кожен компресор слід оснащувати системою протиаварійного захисту, що забезпечує звукову і світлову сигналізацію при припиненні подачі охолоджуючої води, підвищенні температури повітря, що стискається, або газу вище допустимою і автоматичну зупинку компресора при пониженні тиску масла для мастила механізму руху нижче допустимою.

Запобіжні клапани слід встановлювати після кожного ступеня стиснення компресора на ділянці охолодженого повітря або газу. Якщо на кожен компресор передбачений один повітрозбірник і на нагнітальному трубопроводі відсутня замочна арматура, запобіжний клапан після компресора може встановлюватися тільки на воздухо- або газозбірнику.

Розміри і пропускна спроможність запобіжних клапанів вибираються так, щоб не міг утворитися тиск, робочий, що перевищує, більш ніж на 0,5 кгс/см<sup>2</sup> при робочому тиску до 3кгс/см<sup>2</sup> включно, на 15% при робочому тиску від 3 до 60кгс/см<sup>2</sup> і на 10% при робочому тиску понад 60кгс/см<sup>2</sup>.

Установка запобіжних клапанів повинна відповідати вимогам нормативно-технічних документів по промисловій безпеці.

Регулювання запобіжних клапанів слід проводити на спеціальних стендах особами, допущеними до самостійного обслуговування компресорних установок, із записом про проведене регулювання в експлуатаційній документації.

Натяжні гайки пружинних запобіжних клапанів пломбуються, а вантажі запобіжних клапанів важелів закріплюються, закриваються металевими кожухами і пломбуються.

На нагнітальному трубопроводі до повітрозбірника або газозбірника слід встановлювати зворотний клапан.

При розташуванні устаткування, що вимагає систематичного обслуговування, на висоті більше 1,8 м, слід передбачати пристрої для зручності і безпечного його обслуговування.

Масило компресора і вживані масла повинні відповідати інструкції заводу-виготівника або рекомендації спеціалізованій організації.

Кожна партія компресорного масла, що поступає, повинна мати паспорт-сертифікат з вказівкою фізико-хімічних властивостей масла. Перед застосуванням масло з кожної партії піддається лабораторному аналізу.

Доставку масла в машинний зал слід проводити в спеціальних судинах для кожного виду масла (відрах і бідонах з кришками і т.д.).

Не допускається використання для інших цілей судин, передбачених для транспортування і зберігання компресорного масла. Судини слід містити в чистоті і періодично очищати від опадів.

У необхідних випадках, визначуваних проектом, компресорні установки забезпечуються пристроями централізованої подачі масла, а також аварійним зливом масла.

Відпрацьоване масло може бути допущене до повторного використання тільки після його регенерації і позитивних результатів лабораторного аналізу на

відповідність його фізико-хімічних властивостей технічній документації на масло.

Відпрацьоване масло слід зливати в ємність, що знаходиться поза приміщенням компресорної установки.

Заливку масла в змащувальні пристрої слід проводити через воронки з фільтрами.

Масляні фільтри в системі примусового мастила і приймальну сітку масляного насоса очищати в терміни, передбачені графіком, але не рідше за один раз на два місяці.

Масляний насос і лубрикатор слід очищати не рідше за один раз на півтора місяці.

Компресорні установки слід обладнати надійною системою повітряного або водяного охолодження. Режим роботи системи охолодження повинен відповідати вимогам експлуатаційної документації.

У воді системи охолодження компресорних установок не допускається вміст рослинних і механічних домішок в кількості понад 40 міліграма/л. Загальна жорсткість води повинна бути не більше 7 мг-екв/л. Систему охолодження компресорних установок слід оснащувати водоочисниками, якщо відсутня вода необхідної якості.

Для контролю за системою охолодження на трубопроводах, відвідних нагріту воду від компресора і холодильників, на видних місцях слід встановлювати:

а) при замкнутій системі охолодження - реле протоки з скляними оглядовими люками або контрольними кранами з воронками;

б) при відкритій циркуляційній системі охолодження - зливні воронки.

Для спуску води з системи охолодження і сорочок компресора слід передбачати відповідні спускові пристосування.

Розводка охолоджуючої системи трубопроводів в приміщенні компресорної установки виконується переважно в каналах (тунелях). Розміри каналів (тунелів) повинні бути зручними для виконання ремонтних робіт і

обслуговування розташованих в них арматури і трубопроводів охолоджуючої системи. Канали (тунелі) повинні мати дренаж.

Огорожа (всмоктування) повітря повітряним компресором слід проводити зовні приміщення компресорної станції на висоті не менше 3 м від рівня землі.

Для повітряних компресорів продуктивністю до 10 м<sup>3</sup>/мин., що мають повітряні фільтри на машині, допускається проводити огорожу повітря з приміщення компресорної станції.

Для очищення всмоктуваного повітря від пилу всмоктуючий повітропровід компресора оснащується фільтром, захищеним від попадання в нього атмосферних опадів.

Конструкція фільтруючого пристрою повинна забезпечувати безпечний і зручний доступ до фільтру для його очищення і розбирання.

Фільтруючий пристрій не повинен деформуватися і вібрувати в процесі засмоктування повітря компресором.

Фільтруючі пристрої можуть бути індивідуальними або загальними для декількох компресорів. У останньому випадку для кожного компресора слід передбачити можливість відключення його (у разі ремонту) від загального всмоктуючого трубопроводу.

Для підприємств, де можлива велика запилена всмоктуваного повітря, компресорні установки слід обладнати фільтрами і іншим спеціальним устаткуванням відповідно до проектної документації.

У компресорах, забезпечених кінцевими холодильниками, слід передбачити вогномаслоотделітелі на трубопроводах між холодильником і повітрозбірником. Допускається поєднання кінцевого холодильника і вогномаслоотделітеля в одному апараті.

При необхідності мати глибоко осушене повітря, крім кінцевих холодильників, компресори обладналися спеціальними осушними установками. Осушні установки, що працюють по методу виморожування вологи за допомогою холодильних установок, необхідно розташовувати в ізольованих від компресорної установки приміщеннях.

Осушні установки, що працюють по методу поглинання вологи твердими сорбентами і з використанням нетоксичних і невибухонебезпечних хладагентів, можуть розміщуватися в машинному залі компресорної установки.

Для згладжування пульсацій тиску стислого повітря або газу в компресорній установці слід передбачати повітрязбірники або газозбірники (буферні ємкості).

Повітрязбірник або газозбірник слід встановлювати на фундамент поза будівлею компресорної установки і захищати.

Відстань між повітрязбірниками повинна бути не менше 1,5м, а між повітрязбірником і стіною будівлі - не менше 1,0м.

Огорожа повітрязбірника повинна знаходитися на відстані не менше 2м від повітрязбірника у бік проїзду або проходу.

Допускається в обґрунтованих випадках приєднання до одного повітрязбірника декількох компресорів з установкою на нагнітальних лініях зворотних клапанів і замочної арматури. Перед замочною арматурою на нагнітальних лініях слід встановлювати запобіжні клапани.

Для проведення періодичних оглядів і ремонтів повітрязбірників необхідно Масло і вода, що видаляються при продуванні вологомасловідділяючих пристроїв і повітрязбірників, відводяться в спеціально обладнані пристрої (збірки), що виключають забруднення виробничих приміщень, стін будівлі і навколишньої території маслом.

Електрогідравлічні віброустановки являються механізмами, виконавчі механізми яких можуть здійснювати підсилення по потужності коливальних рухів, яке відповідає управляючим вхідним сигналам звукових частот.

Кажучи про області вживання методів і засобів точних вимірювань параметрів руху, слід особливо зупинитися на оцінці дії вібрації і ударів на людину, оскільки вібрації машин і механізмів знижують продуктивність праці і в деяких випадках створюють загрозу здоров'ю і безпеці людини. У зв'язку з цим розроблено немало методів оцінки інтенсивності вібраційної дії і визначення допустимих меж цієї дії на людину, пов'язаних з точними

вимірюваннями параметрів переміщення, швидкості, прискорення і різкості.

Розрізняють три види дії вібрацій на людину:

- такі, що передаються безпосередньо на всю поверхню тіла людини, наприклад, коли людина знаходиться в звуковому полі високої інтенсивності;
- такі, що передаються всьому тілу через опорну поверхню, наприклад, через ноги коштує людини, поблизу працюючих машин;
- вражаючі окремі частини тіла, наприклад рука — від рукояток відбійного молотка, голову від опорних пристосувань.

У проектах міжнародного стандарту ІСО/ТС 108 пропонується нормувати рівні вібрацій по прискоренню в діапазоні частот від 1 до 80 Гц. В цьому діапазоні виявлена область найбільшої чутливості людини до механічної вібрації, передаваної через жорстку опору.

Вібрації на частотах нижче 1 Гц також роблять шкідливий вплив на людину, їх дія прийнята називати «морською хворобою» і «хворобою руху», але для вимірювання цих вібрацій ще не розроблені віброметри і не встановлені рівні допустимих коливань.

Вплив вібрації на частотах понад 80 Гц залежить від вигляду і площі віброуючої поверхні, ступені амортизації, створюваним взуттям, рукавичками і ін. При встановленні норм допустимої вібрації передбачається, що оператор володіє хорошим здоров'ям, здатний переносити звичні перевантаження, пересування на всіх видах транспорту, а також різні дії протягом робочого дня, тижня.

Промислові джерела вібрацій мають полігармонійну форму коливань, основною характеристикою якої є середнє квадратичне значення вимірюваного параметра. Впливи синусоїдальних, полігармонійних і випадкових коливань не рівноцінні.

При складанні технічних умов на машини і механізми керуються різними нормами вібраційної дії: межею зменшення комфорту; межею зниження продуктивності праці; межею дії.

Відповідно до вказаних норм виробляються динамічні рівні, їх межі залежно від частоти, тривалість дії, напряму вібрацій.

Захист від шкідливої дії вібрацій представляє собою сукупність методів і засобів для зменшення рівня вібрацій, передаваних тілу людини. В оцінці ефективності вібраційного захисту важливу роль грає точність і єдність вимірювань.

Дія вібруючого об'єкту характеризується звичайно функціональною залежністю від часу п'яти величин: переміщення, швидкості, прискорення, різкості і сили. Стосовно різних органів людини вимоги до норм про кожен з них нерівноцінні.

Амплітуди переміщення нормують для гармонійних, а також полігармонійних вібрацій (коли в межах кожної октавної смуги знаходиться не більш однієї гармонійної складової) роздільно по октавних смугах.

Для проміжних значень частот гармонійних коливань амплітуди допустимих переміщень слід визначати лінійною інтерполяцією.

Вібрація серед всіх видів механічних впливів для технічних об'єктів найбільш небезпечна. Знакозмінні напруження, викликані вібрацією, сприяють накопиченню пошкоджень в матеріалах, появі тріщин та руйнуванню.

За способом передачі на тіло людини вібрацію поділяють:

- загальна, яка передається через опорні поверхні на тіло людини;
- локальну, яка передається через руки.

Вібрація викликає порушення стану людини. Симптоми вібрації проявляються у вигляді головного болю, заніміння пальців рук та інші.

Загальні методи боротьби з вібрацією базується на аналізі рівнянь, котрі описують коливання машини у виробничих умовах і класифікуються:

- зниження вібрацій в джерелі виникнення, шляхом зниження збуджувальних сил.
- відлагодження від резонансних режимів раціональним вибором приведеної маси або жорсткості системи, котра коливається.
- вібродемпфування - зниження вібрацій за рахунок тертя демпферного

пристрою.

- віброізоляція - введення в коливну систему додаткового пружинного зв'язку.

## **6.2 Робота з ЕОМ**

Особи, що допускаються до експлуатації і технічного обслуговування ЕОМ, повинні пройти цільове навчання по вивченню правил роботи і вимог безпеки при роботі з ЕОМ, а також ЕД на конкретні види ЕОМ, до роботи з якими вони одержують допуск. Для безпечної експлуатації ЕОМ в приміщенні, де вона встановлена, повинні забезпечуватися кліматичні умови, встановлені ЕД.

Всі пристрої ЕОМ підлягають захисному заземленню, за винятком пересувних і переносних, в конструкції яких заземлення не передбачено.

Не допускається використовувати як захисне інформаційне заземлення, якщо це не дозволено ЕД.

Електричний опір і міцність ізоляції в пристроях ЕОМ перевіряється відповідно до ЕД. з врахуванням наявності подвійної, підсиленої і додаткової ізоляції.

Перевірка проводиться згідно ГОСТ 25861 - 83 для вторинних ланцюгів, що не мають з'єднань із заземленням, за допомогою міліамперметра, яким вимірюється струм між заземлюючим елементом пристрою і проводами вторинного ланцюга по черзі.

Враховуючи велику щільність монтажу в пристроях ЕОМ, при їх технічному обслуговуванні повинні забезпечуватися шляхи витоку, повітряні зазори і відстані по ізоляції в ланцюгах, пошкодження ізоляції яких може привести до ураження електричним струмом. При кожному регламентованому технічному обслуговуванні шляху витоку в ланцюгах напругою вище 42 В повинні очищатися від пилу шляхом протирання спиртом або іншим нейтральним розчинником, а пошкоджені місця ізоляції повинні покриватися



ізоляційним лаком. При заміні елементів в цих ланцюгах повинні витримуватися повітряні зазори між струмоведучими частинами і не допускатися гострі виступи припою і виводів елементів.

При технічному обслуговуванні пристроїв ЕОМ підлягає обов'язковій перевірці справність зовнішнього підключення ЕОМ до мережі і підключених пристроїв. Проводи і кабелі не повинні мати пошкоджень ізоляції і захисної оболонки, обривів жил у місцях приєднання. В місцях введення у вхідні пристрої проводи і кабелі повинні бути закріплені, щоб не створювати натягу струмопровідних жил. З'єднувальні пристрої, зокрема вбудовані в ЕОМ, повинні мати справні контакти, в з'єднувальних пристроях релеjno-контактного типу контактний, зазор у відключеному стані повинен бути не меншим 3 мм.

Стан внутрішньої проводки в пристроях ЕОМ підлягає перевірці при регламентованому технічному обслуговуванні. Внутрішня проводка повинна мати трасування, опорне кріплення для запобігання натягу проводів і їх з'єднань, додаткову ізоляцію або екранування для відділення проводів, що знаходяться під венозною напругою, від ланцюгів малої напруги. Внутрішня проводка повинна, мати ефективний захист від дотику з рухомими частинами. Жорсткі ізольовані провідники повинні розташовуватися так, щоб забезпечувати повітряні зазори і. шляхи витоків не нижче допустимих.

При регламентованому технічному обслуговуванні, обов'язковій перевірці з періодичністю не рідше 1 разу на рік, підлягають захист пристроїв ЕОМ від перевантажень по струму і виконаний на базі реле максимального струму, захист від коротких замикань. При заміні елементів захисту не допускається застосовувати реле з самоповерненням.

Вентилятори, що встановлені на пристроях ЕОМ для їх охолодження в робочому режимі, повинні проходити перевірку на безпеку експлуатації з періодичністю і в об'ємах, вказаних в їх ЕД.

Всі блокування, що є на пристроях ЕОМ, повинні бути в справному стані і підлягають перевірці при регламентованому технічному обслуговуванні.

Блокування, що відключається для проведення технічного обслуговування, підлягає підключенню і перевірці після його закінчення. Захисні блокування від надзвичайно небезпечних дій (висока напруга, небезпечні випромінювання і т.д.) не повинні відключатися.

Захисні огорожі (кожухи, сітки, бар'єри), що перегороджують доступ до рухомих частин, ланцюгів високої напруги, газорозрядних трубок високого тиску і т.д., повинні бути в справному стані, а дверці, що є на них, повинні надійно

утримуватися замками в закритому стані. При необхідності, якщо це передбачено конструкцією пристрою, захисна огорожа повинна бути заземлена.

Пристрої ультрафіолетового випромінювання, при роботі яких утворюється озон, або використовуються горючі рідини і гази, повинні експлуатуватися із застосуванням засобів, що захищають персонал від випромінювання, а також з дотриманням «Правил пожежної безпеки в газовій промисловості».

У пристроях введення і виведення інформації ЕОМ, а також в пристроях відображення інформації з високовольтними телевізійними трубками при їх роботі можуть створюватися і накопичуватися заряди статичної електрики, тому вони повинні експлуатуватися із застосуванням засобів захисту від статичної електрики, вказаних в ЕД Ці засоби підлягають перевірці при регламентованому технічному обслуговуванні пристроїв.

У пристроях ЕОМ, що працюють з порошками або виробляють пил при нормальній роботі (паперовий пил), повинні бути в справності пристосування, що перешкоджають розповсюдженню і забезпечують накопичення відходів у визначених місцях.

Перевірка цих пристосувань і очищення пристроїв від накопичень пилу повинні проводитися при технічному обслуговуванні з періодичністю, встановленою в ЕД.

Попереджувальні написи про призначення і положення органів управління та індикації підлягають перевірці при кожному технічному

обслуговуванні. Написи, що стали непридатними, підлягають заміні або відновленню.

### **6.3 Безпека життєдіяльності**

З розвитком науково-технічного прогресу важливу роль грає можливість безпечного виконання людьми своїх трудових обов'язків. У цьому сенсі була створена та розвивається наука про безпеку праці та життєдіяльності людини. Безпека життєдіяльності (БЖД) — це комплекс заходів, вкладених у забезпечення безпеки людини у середовища проживання, збереження здоров'я, розробку методів і засобів захисту за допомогою зниження впливу шкідливих і найнебезпечніших чинників до допустимих значень, вироблення заходів для обмеження шкоди на ліквідацію наслідків надзвичайних ситуацій мирного і війни.

Мету й зміст БЖД: виявлення вивчення чинників довкілля, які впливають для здоров'я людини; - ослаблення дії цих факторів до безпечних меж чи виняток їх якщо може бути; - ліквідація наслідків катастроф і стихійних лих. Коло практичних завдань БЖД передусім обумовлений вибором принципів захисту, із розробкою та раціональним використанням засобів захисту чоловіки й природного довкілля від впливу техногенних джерел постачання та стихійних явищ, і навіть коштів, які забезпечують комфортне стан середовища життєдіяльності. Охорона здоров'я працюючих, забезпечення безпеки умов праці, ліквідація професійних захворювань, і виробничого травматизму становитиме з головних турбот людського суспільства. Звертається увагу до необхідності широко він прогресивних форм наукової організації праці, відомості до мінімуму ручного, малокваліфікованого праці, створення обстановки, яка виключає професійні захворювання і виробничий травматизм. На робоче місце мають бути передбачені захисту від можливого впливу

небезпечних і шкідливих факторів виробництва. Рівні цих факторів нічого не повинні перевищувати граничних значень, обумовлених правовими, технічними і санітарно-технічними нормами. Переважна частина вчених вважають, що і короткочасне, і тривале вплив всіх видів випромінювання від екрана монітора безпечно здоров'ю персоналу, обслуговуючого комп'ютери. Проте вичерпних даних щодо безпеки впливу випромінювання від моніторів на які працюють із комп'ютерами й не існує дослідження, у цьому напрямі тривають. Максимальний рівень рентгенівського випромінювання робочому місці оператора комп'ютера звичайно перевищує 10мкбэр/ч, а інтенсивність ультрафіолетового і інфрачервоного випромінювань від екрана монітора лежать у межах 10...100мВт/м<sup>2</sup>. Для зниження впливу цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори зі зниженим рівнем випромінювання (MPR-II, TCO-92, TCO-99), встановлювати захисні екрани, і навіть дотримуватися регламентовані режими праці та відпочинку.

### **6.3.1 Причини виникнення виробничих аварій**

Виробничі аварії можуть бути різноманітними. Причинами їх можуть бути: стихійні лиха (землетруси, зсуви, повені, пожежі тощо). а також порушення технології виробництва і правил техніки безпеки.

Найбільш типовими наслідками аварій можуть бути: вибухи, пожежі, затоплення, завали шахт, зараження навколишнього середовища сильнодіючими отруйними речовинами.

Під стихійним лихом розуміють таке явище природи, яке не може бути відвернуте і характеризується порушенням нормальної життєдіяльності значної групи населення, загрози для їх життя, руйнуванням чи затопленням та знищенням матеріальних цінностей.

До них відносяться: повені; потоки; урагани; зсуви; землетруси та інші.

До стихійних лих відносяться також масові лісові пожежі по тим втратам, які вони завдають народному господарству і великій небезпеці для населення, що проживає у районах, охоплених пожежами.

Крупними аваріями на промислових підприємствах вважаються надзвичайні пригоди, які викликають раптову зупинку роботи. створюють небезпеку для життя людей і можуть призвести до руйнування виробничих будівель, ушкодження чи знищення устаткування, сировини і готової продукції, а також до зараження місцевості отруйними речовинами і загазованості атмосфери. Наслідком аварій, а іноді і причиною їх можуть бути вибухи і пожежі.

Такі стихійні явища природи, крупні аварії у промисловості і на транспорті, які спричинили загибель людей, великі руйнування і знищення матеріальних цінностей, відносяться до категорії катастроф.

Крупні виробничі аварії і катастрофи можуть призводити до загибелі людей і завдавати відчутних втрат народному господарству.

Тому забезпечення безаварійної роботи підприємств слід розглядати як важливу державну справу, яка потребує повсякденної уваги керівництва. інженерно-технічних працівників. Аварії можуть трапитися на будь-яких промислових підприємствах і на транспорті, унаслідок безвідповідального відношення до своїх обов'язків усіх посадових осіб. а також робітників і службовців підприємства і недодержання ними правил техніки безпеки.

Однак, найбільшу небезпеку являють собою об'єкти. що виробляють чи застосовують у технології сильнодіючі отруйні речовини, вибухо і пожежонебезпечні матеріали і продукти. Небезпечними об'єктами є також склади, бази. залізничні станції і порти, де зберігаються чи маються запаси цих матеріалів і продуктів. Аварії можуть трапитися унаслідок:

- стихійних лих;
- допущення прорахунків у проектуванні будівництві і обладнанні підприємства;
- введення в експлуатацію промислових об'єктів з великими недоробками і відступами від проектів;
- прийняттям в експлуатацію вентиляційних систем без випробування на ефективність їх роботи;

- недоробок по техніці безпеки і охороні праці тощо.

Вони можуть бути також наслідком порушення технологічного процесу, несправності електропроводки і недостатнього впровадження надійних систем пожежогасіння.

Аварії виникають і унаслідок необачного поводження з вогнем.

Крім того, причинами аварії можуть бути: порушення вимог і правил техніки безпеки: низька трудова і технологічна дисципліна, відсутність належного контролю за процесом виробництва.

Аналіз причин аварій показує, що вони виникають головним чином унаслідок поганої навченості персоналу, допущеної халатності, порушень технологічного процесу виробництва і правил техніки безпеки.

Для запобігання аваріям на промислових підприємствах і транспорті заздалегідь розробляються і здійснюються організаційно-технічні заходи, спрямовані на підвищення стійкості і безаварійності роботи.

Вивчення причин виникнення аварій і всебічна оцінка ступеня їх небезпечності дасть можливість правильно визначити заходи, що до їх попередження, передбачити необхідні дії по захисту людей і зниженню втрат.

### **6.3.2 Дії адміністрації, персоналу та населення при виникненні надзвичайних ситуацій.**

Важливим фактором забезпечення безаварійної роботи є вивчення і суворе дотримання всіма інженерно-технічними працівниками правил і норм техніки безпеки. Основними заходами по ліквідації наслідків аварій і стихійних лих є:

- оповіщення робітників і службовців, ЦО і населення, що проживає поблизу об'єкту, екстрена евакуація;
- комплексна розвідка об'єкту на якому виникла аварія;
- рятування людей з-під завалів, із оточуючих і ушкоджених будівель і споруд;

- надання медичної допомоги потерпілим від аварії, вивіз у лікувальні установи;
- гасіння пожеж;
- локалізація аварії на комунально-енергетичних мережах, перешкоджаючих веденню рятувальних робіт;
- улаштування проїздів і підходів до місць аварій;
- руйнування ненадійних конструкцій, розбирання завалів;
- демонтаж зберігшогося устаткування, якому загрожує небезпека;
- організація комендантської служби.

Задача кожного працюючого на підприємстві - знати основні правила поведінки при аваріях, вміти діяти в обставинах, що при цьому склалися. Ці правила і послідовність дій треба вивчати, постійно пам'ятати і вміти практично виконувати.

В аварійній ситуації важливою задачею є оповіщення про аварію. Кожний робітник і службовець будь-якого об'єкту народного господарства повинен вміти користуватися наявними на підприємстві оповіщувачами. Кожний робітник підприємства, пов'язаний з можливою газовою обстановкою, повинен знати способи виклику газорятівників.

Для ліквідації стихійних лих, виробничих аварій і рятування потерпілих на об'єктах народного господарства у першу чергу залучаються спеціальні підрозділи (газорятівників, пожежників і т. ін.), при необхідності можуть залучатися формування ЦО.

З виникненням аварій робітники і службовці, що входять до складу формування ЦО, зобов'язані негайно прибути на місце збору. Робітники і службовці підприємства, що не входять до складу формувань, повинні бути також готові вести роботи по ліквідації аварії, по спасінню потерпілих на об'єктах.

Ліквідація наслідків стихійних лих і аварій може здійснюватись одночасно на всьому об'єкті або по окремих його ділянках при наявності достатніх сил і

засобів. При цьому розпочинають їх у першу чергу там, де необхідно надати допомогу людям, на ділянках, які становлять найбільшу небезпеку.

Перша медична і лікарська допомога надається перш за все потерпілим, що знаходяться у шоківому стані, а також вивільнені з-під уламків завалів. Вивільнення людей з-під великих завалів проводиться з додержанням особливих заходів перестороги, їм надається невідкладна медична допомога на місці з подальшою евакуацією у лікувальні установи.

Виробничим аваріям звичайно сприяють пожежі, що створюють у деяких випадках найбільшу небезпеку. Обстановка в осередку пожежі може створитися досить складна, особливо при наявності руйнувань, завалів, порушення і навіть припинення водопостачання. Боротьба з вогнем пов'язана із рятуванням людей, якщо частина персоналу підприємства опинилася у зоні, охопленій полум'ям. Наявність у виробництві вибухонебезпечних і швидко займистих матеріалів може погіршити становище. Тому до ліквідації пожежі необхідно залучити технічний персонал підприємства, який добре знає розташування апаратури, що знаходиться під великим тиском, місцезнаходження вибухонебезпечних чи отруйних речовин, а також можливості використання стаціонарних засобів пожежегасіння.

У першу чергу локалізують і гасять ті осередки пожежі, які становлять перешкоду рятувальним роботам і створюють загрозу подальшого поширення вогню.

Особовий склад формувань пожежегасіння повинен суворо дотримуватись правил безпеки, слідкувати за станом будівельних конструкцій, що загрожують обвалом, і не допускати, щоб вогонь оточував працюючих. При сильній задимленості особовий склад, що приймає участь у гасінні пожежі, повинен діяти у протигазах і використовувати інші захисні засоби.

Пожежі впливають на людей дуже сильним психологічним ефектом. Відомо, що паніка серед людей навіть при невеликих пожежах є причиною значних жертв. Знаючи правила поведінки, людина, захоплена цим лихом, у



будь-якій обстановці зможе не лише врятувати своє життя, але й надати допомогу у рятуванні інших людей, матеріальних цінностей від вогню.

При самопорятунку і рятуванні інших людей у будинках охоплених вогнем, діяти слід швидко, оскільки основною небезпекою є висока температура повітря, задимлення, можливі обвалення будівельних конструкцій. Палаюче приміщення треба долати, накрившись з головою мокрою ковдрою, цупкою тканиною чи верхнім одягом, крізь сильно задимлене приміщення слід повзти чи рухатись пригинаючись. Двері у задимлене приміщення слід відчиняти обережно, бо швидкий потік повітря викличе спалах полум'я. Ввійшовши у приміщення, де можуть бути люди, слід гукнути їх, відшукуючи потерпілих, треба пам'ятати, що діти від переляку ховаються під ліжко, шафу, забиваються у кутки, в інші місця.

Під час пожежі на людях спалахує одяг. При невеликих ділянках палаючого одягу вогонь може бути погашений шляхом збивання його курткою, рукавицею. Не виключено, що у деяких випадках люди в палаючому одязі намагаються бігти. Необхідно зупинити їх, накинувши на таких потерпілих будь-яке полотнище, щільно притуливши його до тіла потерпілого. Цим може бути досягнуте припинення припливу повітря до місця горіння і самогоріння.

При виникненні пожежі на виробництві у першу чергу треба повідомити пожежну команду, а потім сміливо вступати у боротьбу з вогнем.

Для гасіння пожеж застосовуються : вода, пісок, вогнегасники і інші підручні засоби. Крім цих засобів треба застосовувати підготовлений протипожежний інвентар, пінні, порошкові і вуглекислотні вогнегасники, а також підручні матеріали, що мають вогнегасну дію.

Бензин, гас, різні органічні масла і розчинники, палаючу електропроводку водою гасити не можна, їх слід гасити за допомогою пінних і порошкових вогнегасників, шляхом засиплення піском і землею, а якщо вогнище пожежі невелике - накрити його брезентовим покривалом, важкою тканиною чи одягом, змоченим водою. Палаючу електропроводку гасити можна лише впевнившись, що з неї знята напруга.

Треба бути уважним при наявності обвислих проводів: не з'ясувавши, що провід знеструмлено, слід вважати його під напругою і вживати відповідні заходи безпеки.

На ряді об'єктів народного господарства здійснюється виробництво, використання, зберігання, а у деяких районах і перевезення сильнодіючих отруйних речовин (СДОР). Це стосується перш за все підприємств хімічної, нафтопереробної, нафтохімічної та інших споріднених з ним галузей промисловості, підприємств, що мають холодильні установки в яких застосовується як холодильний агент речовини типу аміаку, водопровідних і очисних споруд, що використовують хлор, залізничних станцій, що мають колії рухомого складу для СДОР, а також складів і баз з запасами отрутохімікатів, чи інших аналогічних речовин. Серед СДОР можуть бути: аміак, хлор, окис вуглецю, сірчастий ангідрид, сірковуглець, трихлористий фосфор, фтористий водень та. ін.

У наслідок стихійних лих (наприклад, під час землетрусу, пожежі чи залізничної катастрофи) чи при аварії на виробництві, можливі виливи (викиди) СДОР і пов'язані з ними зараження місцевості і повітря. При цьому не виключені ураження людей, що знаходяться у районах виливу (викиду) СДОР.

Після виявлення викиду в атмосферу СДОР чи розливу її по території слід негайно сповістити всіх, хто може опинитися у небезпечній зоні, включаючи і житловий сектор, який межує з об'єктом.

Робітники і службовці, а у деяких випадках і жителі прилеглих районів на випадок аварії повинні бути забезпечені промисловими фільтруючими протигазами, призначеними для захисту від даного виду СДОР.

Робота по ліквідації аварії у першу чергу спрямована на те, щоб припинити розповсюдження отруйної речовини в атмосферу і розтікання її по місцевості. Для цього потрібно відключити ушкоджену ділянку перекрити крани і інші запірні пристрої. На розриви, що утворилися у ємностях і трубопроводах, накласти пластирі, муфти, у необхідних випадках забити пробки із дерева чи

металу, перекачати СДОР з ушкоджених ємностей у справні. Крім того, для збору отруйних речовин необхідно відкопати рови і канали.

Розвідники, як тільки виявлять зараження, визначають концентрацію СДОР, уточнюють зони небезпечного і надзвичайно небезпечного зараження, позначають їх межу, встановлюють шляхи підходу, характер і масштаби руйнувань, стан людей і обладнання. Район, де відбулася аварія обов'язково оточується, сторонні не допускаються.

Органи ЦО у цей час повинні уважно стежити за метеорологічною обстановкою. Напрямок вітру і температура повітря можуть змінюватись, і це відіб'ється на характері і напрямку розповсюдження отруйних парів.

Не менш важливою турботою при ліквідації зараження є дегазація зараженої території, споруд і устаткування. Як речовини для дегазації можуть бути використані, наприклад, хлор, гашене вапно, лужні відходи промисловості. Застосовують їх найчастіше у вигляді розчинів або кашки.

Усі хто приймає участь у ліквідації аварії, забезпечуються промисловими чи ізолюючими протигазами, захисним одягом, індивідуальними протихімічними пакетами, медичними засобами.

У зонах можливих затоплень на місцевості слід додержуватись встановленого порядку, зайняти підвищені місця. При рятувальних роботах необхідно виявляти витримку і самовладання, суворо дотримуватись вимог рятувальників. Не можна переповнювати рятувальні засоби (катери, човни, плоті), оскільки це загрожує безпеці рятувальників і врятованих. Потрапивши у воду, слід скинути із себе важкий одяг і взуття, відшукати поблизу плаваючі чи підвищені над водою предмети, скористатися ними до отримання допомоги.

У випадку одержання сигналу сповіщення населення про наближення селевого потоку чи зсуву, а також при перших ознаках їх появи, треба якомога швидше залишити приміщення попередити про небезпеку оточуючих і вийти у безпечне місце. Залишаючи приміщення, слід загасити печі, перекрити газові крани, вимкнути світло і електроприлади. Це допоможе відвернути виникненні

пожежі. Селеві потоки і зсуви являють серйозну небезпеку при їх раптовій появі. У цьому випадку страшнішим за все є паніка.

У випадку захоплення когось потоком селю, треба надати потерпілому допомогу усіма наявними засобами . Такими засобами можуть бути жердини, канати чи мотузки, що подають рятівники. Виводити врятованих з потоку треба у напрямку потоку із поступовим наближенням до краю.

На кожній ділянці аварійних робіт виставляється охорона і спостерігачі, а біля небезпечних місць встановлюється огорожа і вивішуються плакати з попередженнями про небезпеку.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі проаналізований сучасний стан розвитку експертних систем, доведені переваги та вказані недоліки діагностування за допомогою експертних систем. Виконаний вибір середовища реалізації експертної системи – діагностування ГПА за параметрами вібрації. Проведений порівняльний аналіз експертних оболонок, виконано обґрунтування експертної оболонки ESTA. Відмови та дефекти ГПА виправдали використання вибраної методики діагностування дефектів з метою досягнення оптимальних умов визначення нормального стану агрегата.

При розробці експертної системи діагностування ГПА передбачена розробка загальної структури, виконана побудова бази знань та побудова внутрішніх правил. Проведена апробація стану ГПА за значеннями амплітуди в спектрі вузла ГПА. Розроблене програмне забезпечення показало свою працездатність в робочому діапазоні технологічних параметрів ГПА. Досліджені значення амплітуди в контрольних точках дозволили виявити ряд дефектів ГПА, що є важливим при експлуатації в нормальному робочому технологічному режимі. Експлуатація експертної системи дозволяє використовувати її в режимі порадики, шляхом виявлення дефекту чи визначення нормального режиму роботи ГПА.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Лебедев-Цветков Ю.Д. Оборудование и рабочие процессы газотурбинных компрессорных станций, изд 2-е, испр. и доп./ Лебедев-Цветков Ю.Д. – М.:Недра 1966.
2. Могильницкий И.П. Машинист газотурбинного агрегата./ И.П. Могильницкий. – М.:Недра, 1973.- 228 с.
3. Мызин Н.И. Вибрация газоперекачивающих агрегатов./ Мызин Н.И., Скварновский А.В., Чудиков Ю.П. – М.:Недра, 1973.- 144с.
4. Биргер И.А. Техническая диагностика./ Биргер И.А. - М.: Машиностроение, 1978.
5. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом./ Зарицкий С.П. - М.:Недра, 1987.- 198 с.
6. Васильев Ю.Н. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов/Ю.Н. Васильев, М.Е. Бесклетный, Е.А. Игуменцев и др./ - М.:Недра, 1987 с.
7. Якубович В.А. Повышение эксплуатационной надёжности нефтепромышленного энергомеханического оборудования. Обзорная информация. ВНИИОЭНГ, Сер. «Машины и нефтяное оборудование», 1983. - 144 с.
8. Овечкин Е.И. Анализ причин вибрации газоперекачивающих агрегатов./ Е.И. Овечкин.– М.:В сб. Транспорт и хранение газа. 1980.
9. Монохин А.Е. Современное состояние виброметрии: Обзорная информация. Серия: Метрологическое обеспечение измерений; Вып. 3 Госстандарт, ВНИИКИ. 1981.- С.47-50.
10. Фирма «Брюль и Кьер» предлагает приборы для анализа звука, вибрации и обработки данных. Каталог/Фирма « Брюль и Кьер» - Копенгаген, 1978/1979.

11. Виброизмерительные приборы с датчиками ускорения. Каталог /Фирма «FEB RFT MESSELEK - TRONIK» Дрезден, 1976.

12. Боднер В.А. Измерение вибрации лазерными интерферометрами. В кн. «Вибрационная техника» / В.А. Боднер, Ю.Ф.Застрохин, А.М. Кролев и др. - М., Изд-во МДНТП, 1976.С.70-77.

13. Регламент вимірювань, необхідних для технічного діагностування газоперекачуючих агрегатів, технологічних обв'язок та загальностанційного обладнання компресорних станцій (введений в дію 13 червня 1983 р.). Міністерство газової промисловості. Москва 1984.

14. Справочник проектировщика. Защита от шума. / Под ред. Е. Я. Юдина. - М.: Стройиздат, 1974. - 134 с.

15. Копина Т.В. Експертна система діагностування за параметрами вібрації. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. // Копина Т.В., Трембач Р.Б. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – С56.