

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Ім. Ю.М. ПОТЕБНИ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем

(назва факультету)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий (магістерський) рівень

(рівень вищої освіти)

на тему *Розробка універсальної стаціонарної автоматизованої системи
вibrаційного діагностування механічного стану електродвигуна
прямиймого об'єднання*

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1512

спеціальності 151 Автоматизація та

комп'ютерно-інтегрована технологія

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизація та

комп'ютерно-інтегрована технологія

(назва освітньої програми)

Волга Н. О.

(підписати та прізвище)

Керівник к.т.н., доцент Баринський С. М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Куріцький І. А.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
 ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра Електричної інженерії та кібернетичних систем
 Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код та назва)
 Спеціалізація _____
(код та назва)
 Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри В.А. Коваленко
 « _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Волі Кирил Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Розробка універсальної стаціонарної автоматизованої системи вібраційного діагностування механічного стану електродвигунів промислового обладнання

керівник роботи Барименко Олена Михайлівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 633-с

2 Строк подання студентом роботи 01 грудня 2023 р.

3 Вихідні дані до роботи Сучасний стан нагрівку вібраційного діагностування механічного стану електродвигунів в Україні в контексті його застосування на виробничих підприємствах, існуючі методи керування двигунами

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Перелік аспектів вібраційного діагностування, 2) дослідження впливу на нові системи 3) Математична основа 4) Алгоритм роботи 5) Програма роботи 6) Структура системи

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

структурна схема нової універсальної стаціонарної системи вібраційного діагностування механічного стану електродвигунів промислового обладнання; математична модель діагностування та ідентифікації параметрів об'єкта; алгоритм роботи та задачі, що виконують алгоритм забороненої створення системи; алгоритм-технологія роботи системи; опис можливостей та технічні вимоги до нової системи

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання вдано	завдання пройдено
Розділ 1	Баршак О. М., к.т.н., доцент		
Розділ 2	Баршак О. М., к.т.н., доцент		
Розділ 3	Баршак О. М., к.т.н., доцент		
Розділ 4	Баршак О. М., к.т.н., доцент		
Розділ 5	Баршак О. М., к.т.н., доцент		
Розділ 6	Баршак О. М., к.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Призначення наукового керівника. Затвердження теми	30.09.2023	Виконано
2	Наградування теоретичного матеріалу	30.10.2023	Виконано
3	Апробація результатів на конференції	10.11.2023	Виконано
4	Розробка завдання концептуального підходу	15.11.2023	Виконано
5	Збір та систематизація матеріалів дослідження	20.11.2023	Виконано
6	Узагальнення отриманих результатів. Вирішення роботи.	25.11.2023	Виконано
7	Подання роботи до рецензії. Науковий контроль.	30.11.2023	Виконано
8	Примірний звіт дослідницької роботи	12.12.2023	Виконано

Студент

К. О. Воска

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

О. М. Баршак

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

І. А. Овчинникова

(ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП	
1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ.....	10
1.1 Електромеханічне обладнання як об'єкт дослідження	10
1.2 Аналіз можливих механічних дефектів обладнання.....	13
1.3 Огляд можливостей завчасної ідентифікації механічних дефектів ...	21
1.4 Вібраційне діагностування як предмет дослідження.....	24
1.6 Огляд діючих рішень в області вібраційного діагностування	26
2. ЗАВДАННЯ ТА ВИМОГИ ДО ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	29
2.1 Обґрунтування створення нової системи.....	29
2.2 Вимоги до можливостей проекрованої системи.....	30
2.3 Вимоги до структури проекрованої системи	32
2.4 Вимоги до технічного комплексу проекрованої системи.....	35
2.5 Вимоги до програмного комплексу проекрованої системи	37
2.6 Вимоги до безпеки даних проекрованої системи.....	39
3. МАТЕМАТИЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	41
3.1 Віброшвидкість, віброприскорення та вібропереміщення.....	41
3.2 Математичні перетворення сигналу	43
4. ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	46
4.1 Рівень агрегату	46
4.2 Рівень ділянки	48
4.3 Рівень центрального вузла системи.....	49
4.4 Рівень сервера / клієнта.....	51
5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ	52
5.1 Створення програмного забезпечення для вузлів діляниць.....	52
5.2 Створення програмного забезпечення клієнта для вузлів діляниць ...	53
5.3 Створення програмного забезпечення сервера системи	54
5.4 Створення програмного забезпечення для головного вузла системи .	55
5.5 Створення програмного забезпечення для загального клієнта	56

6. ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ	57
6.1 Перевірка програмного забезпечення вузлів діляниць.....	57
6.2 Перевірка програмного забезпечення головного клієнта.....	60
ВИСНОВКИ.....	71
ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА	73

ВСТУП

Сучасна промисловість є головною опорою економіки та відіграє визначальну роль у забезпеченні потреб суспільства в товарах та послугах. Однак із зростанням технологічності та автоматизації виробничих процесів, особливого значення набуває надійність електричних машин, що є невід'ємною частиною промислового обладнання. Забезпечення безперебійної роботи цих механізмів є ключовим завданням з точки зору підтримки високої стабільності та ефективності технологічного процесу.

Один із основних факторів, який може вплинути на ефективність та тривалість служби обладнання – його механічний стан. Пошкодження під час роботи, неправильна експлуатація, знос та інші фактори можуть спричинити виникнення проблем під час використання, що в свою чергу призводять до виходу з ладу промислового обладнання та значною мірою збільшує витрати на обслуговування технологічного процесу та кінцеву вартість продукції.

Враховуючи важливість підтримки роботи промислового обладнання у виробничих процесах, актуальність вдосконалення методів діагностування їхнього механічного стану набуває першочергового значення. Використання автоматизованих систем неруйнівного контролю – здатне суттєво скорочувати витрати на супроводження електричних машин під час роботи. Метою таких систем є максимально швидке та ефективне виявлення відхилень у роботі обладнання, їх розпізнавання та інформування робочого персоналу про необхідність проведення певних попереджуючих заходів. Вчасне виявлення та усунення відхилень у роботі обладнання може суттєво подовжувати термін його експлуатації, а автоматизація цього процесу – зберігати значні ресурси на проведення огляду, обслуговування та ремонту.

Об'єктом дослідження у даній роботі виступають електричні двигуни промислового обладнання, що надають механічну енергію для його роботи.

Електродвигуни відіграють ключову роль у забезпеченні переміщення або створення зусилля для роботи різноманітних агрегатів та механізмів

виробничих ліній. Основна увага дослідження зосереджена на виявленні та аналізі вібрацій які виникають під час роботи електродвигунів та промислового обладнання на їх основі, а також подальша обробка результатів з метою ідентифікації певних відхилень їх механічного стану.

Вібрації є одним із ключових індикаторів фізичних пошкоджень обладнання, що має рухомі елементи у своїй конструкції. Аномалії у вібраціях можуть свідчити про різноманітні дефекти, такі як: неправильне вирівнювання валів, підшипникові дефекти, дисбаланс та інші механічні або технічні несправності. Ідентифікація цих аномалій в ранніх стадіях може значно знизити ризик виникнення аварій, забезпечуючи можливість своєчасного проведення профілактичних робіт та уникнення серйозних наслідків для виробництва в цілому.

Застосування математичних методів аналізу вібрацій, вбудованих в автоматизовану систему, надає можливість не лише ефективно виявляти проблеми, але і детально аналізувати причини їх утворення та прогнозувати час до виникнення потенційних аварій. Такий підхід до діагностування дозволить підприємствам забезпечити безперебійну роботу свого обладнання та максимально знизити витрати на ремонт та технічне обслуговування.

Основною метою є вивчення можливостей застосування вібраційного діагностування, а також створення системи, яка здатна самостійно виявляти та аналізувати несправності в роботі промислового обладнання на основі інформації про вібрацію на різних його ділянках, зокрема на електродвигунах.

Використання автоматизованих систем для виявлення порушень в роботі є важливим етапом вдосконалення обслуговування та управління технічним станом обладнання. Постійний моніторинг та аналіз вібрацій, виникаючих в результаті роботи електродвигунів та агрегатів на їх основі, дозволять негайно виявляти будь-які відхилення від нормальної експлуатації та швидко реагувати на потенційні проблеми.

Предметом дослідження є можливість створення і впровадження універсальної системи, яка взаємодіє з промисловим обладнанням для

автоматизованого виявлення аномалій у його роботі. Важливість такого дослідження полягає в тому, щоб надати підприємствам інструмент, який дозволяє вчасно реагувати на ризики з залученням мінімальної кількості ресурсів.

Методологія даного дослідження базується на комплексному та системному підході до розробки та впровадження автоматизованої системи. Використання цього підходу дозволяє забезпечити повноту та ефективність дослідження з урахуванням всіх аспектів, які впливають на механічний стан промислового обладнання. Дана методологія базується на наступних кроках:

- проведення детального аналізу наукових та технічних джерел для усвідомлення сучасних тенденцій у галузі діагностування механічного стану електродвигунів та розвитку автоматизованих систем;
- визначення основних методів вібраційного аналізу, впроваджених у попередніх дослідженнях, та ідентифікація їхніх переваг та недоліків;
- визначення вимог до системи вібраційного діагностування, розробка архітектури та вибір необхідних технологій;
- врахування потреб користувачів та специфіки промислового обладнання для максимальної придатності системи до реальних умов експлуатації;
- розробка математичних алгоритмів виявлення та аналізу аномалій у вібраціях з урахуванням різноманітних факторів, які можуть впливати на точність діагностики;
- розробка програмного забезпечення та апаратних засобів системи, їх інтеграція та випробування;
- аналіз результатів тестування та вдосконалення системи відповідно до отриманих даних;
- розробка стратегії впровадження системи;
- проведення комплексної оцінки ефективності системи;
- огляд та аналіз отриманих результатів.

Такий комплексний підхід дозволяє забезпечити не лише технічну ефективність створеної системи, але й легку її інтеграцію в промисловий

виробничий процес з урахуванням потреб користувачів та конкретних умов виробництва.

Розробка та впровадження автоматизованої системи вібраційного діагностування електродвигунів та промислового обладнання має суттєве теоретичне та практичне значення. Дослідження покликане розширити теоретичні засади в галузі діагностики та прогнозування технічних проблем, а також вдосконалити методи аналізу вібрацій.

На практичному рівні впровадження системи сприятиме підвищенню ефективності виробництва, зменшенню витрат на технічне обслуговування та ремонт, підвищенню надійності та безпеки обладнання. Розроблена система стане інструментом для технічного персоналу, дозволяючи їм ефективно виявляти та усувати несправності. Важливою перевагою є оптимізація витрат та можливість розширення меж технічного спостереження за об'єктом.

В даній роботі здійснюватиметься аналіз та розробка універсальної системи вібраційного діагностування для промислового обладнання. Висвітлюватиметься актуальність проблеми в контексті підтримки ефективності виробничих процесів та забезпечення безперебійної роботи підприємств. Основний фокус дослідження – виявлення та аналіз вібрацій, які є ключовим індикатором механічного стану. Важливість розробки автоматизованої системи полягає в завчасному виявленні дефектів, забезпечуючи тим самим тривалу та надійну роботу обладнання.

Робота включає в себе аналіз завдань та вимог до системи, розробку математичної моделі аналізу вібрацій, технічну та програмну реалізацію. Окремий аспект становить перевірка працездатності та ефективності впровадження створеної системи. Робота також охоплює охорону праці та створення комплектів технічної документації.

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

1.1 Електромеханічне обладнання як об'єкт дослідження

У рамках даної роботи, основним об'єктом дослідження виступає промислове обладнання, що має у своєму складі асинхронні електродвигуни змінного струму. Це електрична машини [1], що перетворює електричну енергію змінного струму у механічну енергію обертового характеру, яка в подальшому використовується для виконання якоїсь роботи.

Найбільшого розповсюдження на виробничих об'єктах набули асинхронні електричні двигуни змінного струму, що працюють з напругою 380В трифазного змінного струму. Потужність таких двигунів може починатись від 50-100Вт та досягати 5-10МВт. Звичайно, залежно від потужності, такі двигуни можуть відрізнятись за розмірами та будовою. Проте, принцип дії залишається незмінним.

Асинхронний електричний двигун змінного струму має статор та ротор розділені повітряним простором. Активними частинами є: обмотки та магнітопровід (серцевина). Усі інші конструктивні частини забезпечують необхідну міцність, жорсткість, охолодження, та можливість обертання.

Статор – нерухома електрична частина, в пазах якого розміщена обмотка що створює обертове магнітне поле. Обмотка статора асинхронного електродвигуна змінного струму зазвичай являє собою трифазну обмотку, провідники якої рівномірно розподілені по колу статора і пофазно укладені в пазах з кутовою відстанню 120° . Фази обмотки статора з'єднують за схемою «зірка» та підключають до мережі трифазного змінного струму.

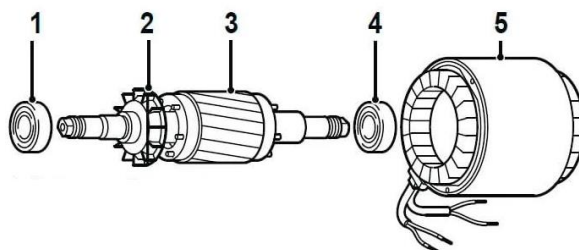
Ротор – набраний з листової сталі та укріплений на валу циліндр, що обертається у середині статора. Обмотка ротора асинхронного електричного двигуна змінного струму складається з мідних або алюмінієвих стрижні замкнених на коротко з торців двома кільцями. Стрижні цієї обмотки

вставляють у пази серцевини ротора. Серцевини ротора та статора мають зубчасту структуру.

На обмотку статора подається змінна напруга, під дією якого, по цим обмотками протікає струм і створює обертове магнітне поле. Магнітне поле впливає на обмотку ротора і, відповідно до закону електромагнітної індукції – наводить на них ЕРС. Виникає струм, що створює власне магнітне поле ротора, яке в свою чергу вступає у взаємодію з обертовим магнітним полем статора. В результаті на кожен зубець магнітопроводу ротора діє сила, яка складаючись по колу – створює обертовий електромагнітний момент, що змушує ротор обертатись.

Ротор жорстко закріплений на валу електричного двигуна і змушує його обертатись від взаємодії власного магнітного поля з магнітним полем статора. Вал двигуна закріплюється у передньому та задньому підшипниках, що встановлені в корпус двигуна. Так, створюється надійна фіксація валу згідно вісі обертання та можливість безперешкодного обертання. Для охолодження обмоток статора та ротора, що можуть нагріватись під впливом власного питомого опору, на валу двигуна позаду – часто жорстко закріплений вентилятор, який обертається разом з ним та проштовхує повітря крізь внутрішній простір електричного двигуна.

На рисунку 1.1 зображено внутрішню будову асинхронного електродвигуна змінного струму.



- 1) підшипник 2) вентилятор 3) ротор 4) підшипник 5) статор

Рисунок 1.1 – Внутрішня конструкція асинхронного двигуна

Звичайно, електродвигуни це лише перетворювачі електричної енергії в механічну. Зазвичай, вони входять до складу різноманітного промислового обладнання, яке використовує цю енергію для виконання якихось дій. Таке обладнання може мати різне призначення, схожу або відмінну будову, різну кількість електродвигунів, різні варіанти застосування, тощо. У таблиці 1.1 приведено лише малу частину такого обладнання та варіанти його застосування, проте всі ці приклади мають у своєму складі електричні машини, що дають їх механічну енергію для виконання роботи.

Таблиця 1 – Приклади обладнання, що використовує електродвигуни

№	Назва	Ціль застосування механічної енергії електродвигунів
1	Вентилятори	Створення повітряного потоку
2	Турбокомпресори	Значне підвищення тиску повітря / газу
3	Повітродувки	Створення повітряного потоку
4	Поршневі компресори	Значне підвищення тиску речовини
5	Насоси	Примусове переміщення речовини
6	Стрічкові конвеєри	Переміщення виробу з точки А в точку Б
7	Приводи ескалаторів	Переміщення людини з точки А в точку Б
8	Прокатні стани	Прошовхування металу крізь ролики
9	Лебідки	Підняття вантажів
10	Крани та ліфти	Підняття вантажів або людей
11	Елеватори	Підняття сипучих матеріалів
12	Подрібнювачі	Подрібнення матеріалів
13	Млини	Подрібнення матеріалу до маленького розміру
14	Центрифуги	Розділення речовин при швидкому обертанні
15	Змішувачі	Змішування речовин
16	Печі обертіві	Поступове нагрівання з постійним перемішуванням
17	Дозувальні пристрої	Дозування матеріалів
18	Тягове обладнання	Створення зусилля на переміщення у просторі
19	Верстати	Механічна обробка матеріалів
20	Редуктори	Перетворення механічної енергії

Усе це обладнання, як і електродвигуни, має у своєму складі багато подібних деталей: вали, підшипники, барабани і т. д. Такі агрегати та механізми спрямовані на виробництво або використання механічної енергії обертання. Через це, усе це обладнання в цілому та електродвигуни особисто – мають досить велику кількість можливих відхилень у їх роботі, що мають однакові причини та наслідки утворення, подібний характер та ознаки пошкодження то-що.

1.2 Аналіз можливих механічних дефектів обладнання

Для промислового обладнання, що має у своєму складі рухомі частини, є характерним наявність поступового зносу механічних деталей. Це відбувається через: робочі навантаження, неправильну експлуатацію, наявність певних пошкоджень робочих частин, порушення при збірці та встановленні обладнання, тощо. Проте більша частина механічних пошкоджень є досить однаковою для більшості електромеханічних агрегатів та установок.

1.2.1 Проблеми підшипників ковзання

Проблеми, пов'язані із підшипниками ковзання, можуть виявлятися різноманітними та варіюватися за характером та впливом на механічне обладнання.

Зазор в підшипнику, який виходить за допустимі межі, створює сприятливе середовище для зносу та тертя, що призводить до швидкого зносу поверхні вкладиша. Дефекти на поверхні вкладиша та шийці вала можуть включати подряпини, тріщини та подібні пошкодження, які погіршують ефективність підшипника та збільшують ймовірність аварійного виходу з ладу.

Мастильні вібрації, викликані неправильним розподілом мастила, можуть призводити до недостатнього змащення підшипника та, як наслідок, до підвищення тертя та нагріву, що погіршує роботу обладнання.

Проблеми монтажу, такі як ослаблення кріплення або перекося, можуть створювати нерівномірне навантаження на підшипник, призводячи до деформацій та зносу.

Еліпсоїдність та багатогранність шийки вала можуть виникати внаслідок неправильної обробки або зносу. Ці нестабільності у формі вала призводять до нерівномірного розподілу навантаження на підшипник, що, в свою чергу, призводить до його раннього зносу.

Усі ці дефекти можуть в подальшому призвести до серйозних наслідків, таких як великі втрати ефективності системи, скорочення терміну служби обладнання, а в крайньому випадку — до аварійного виходу з ладу та значних ремонтних витрат. Зазвичай, вони виникають в результаті неправильної експлуатації, недостатнього технічного обслуговування чи низької якості виготовлення та монтажу компонентів.

1.2.2 Проблеми підшипників кочення

Проблеми, пов'язані із підшипниками кочення, можуть виявлятися в різних формах та мати значний вплив на функціонування механічного обладнання.

Перекос зовнішньої обойми при посадці є потенційною причиною нерівномірного розподілу навантаження на тіла кочення, що може спричинити прискорений знос та витрату енергії на тертя.

Неоднорідний радіальний натяг підшипника може порушувати рівновагу та сприяти нерівномірному зносу та витраті енергії.

Ковзання обойми в місці посадки призводить до підвищеного тертя та, відповідно, до швидкого зносу поверхні контакту.

Ослаблення кріплення корпусу підшипника може створити небезпечне навантаження на сам підшипник, призводячи до його деформацій та можливого виходу з ладу.

Задівання в підшипнику та ущільненнях, а також збільшені зазори в підшипнику, можуть порушувати нормальну роботу та призводити до нестабільності в роботі механізму.

Знос поверхні зовнішньої обойми та тіл кочення, а також сепаратора, веде до втрати гладкості контакту та може призводити до аварійного виходу з ладу.

Дефекти групи поверхонь тертя, раковини на зовнішній та внутрішній обоймі, а також на тілах кочення, можуть спричиняти значний рівень тертя та обтікання між елементами, збільшуючи ризик поломок та витрати енергії.

Зкатування зовнішньої обойми є ознакою важкого зносу та може призводити до важких проблем з роботою підшипника.

Усі ці дефекти можуть виникати в результаті неправильної експлуатації, неякісного обслуговування чи виробничих дефектів, і, як наслідок, призводити до збоїв у роботі механічного обладнання.

1.2.3 Загальні проблеми механізмів

Проблеми, що стосуються механізмів, можуть виникати в різних їхніх компонентах та мати значний вплив на загальну продуктивність та безпеку роботи обладнання.

Неврівноваженість роторів, яка може виникнути через неправильний монтаж чи внаслідок зносу, веде до вібрацій та нестабільності роботи. Це може призводити до періодичних ударів, що, в свою чергу, може призвести до збоїв та прискореного зносу деталей.

Вигини валів можуть виникати під впливом навантаження чи через виробничі дефекти. Це призводить до нерівномірного розподілу навантаження та може спричиняти вищий рівень тертя та зносу.

Збільшення зазорів, люфтів та механічні ослаблення ведуть до неправильного з'єднання компонентів механізму, що призводить до нестабільності та швидкого зносу.

Задівання та тертя всередині механізмів та в ущільненнях є вказівниками неправильного змащення, зносу чи деформації. Це може призводити до великих втрат енергії, погіршення ефективності та, в крайньому випадку, до поломок.

Дефекти монтажу, такі як невірно встановлені чи недостатньо закріплені компоненти, можуть веде до неправильної роботи та скорочення терміну служби механізму.

Стан ремінних та ланцюгових передач також може бути критичним. Знос, витрати ефективності та навіть розриви можуть виникнути через

неправильне налаштування, недостатнє змащення чи витрати робочого матеріалу.

Ці загальні проблеми можуть виникати з різних причин, включаючи неправильне використання, недбале обслуговування, а також знос і природний знос. Розпізнавання та вчасний ремонт цих проблем є важливим для забезпечення тривалої та ефективної роботи механізмів.

1.2.4 Проблеми редукторів та мультиплікаторів

Проблеми, пов'язані з редукторами та мультиплікаторами, можуть виявлятися в різноманітних аспектах їхньої роботи та стану компонентів.

Стан зубчатих пар редукторів та мультиплікаторів є ключовим аспектом їхньої продуктивності. Знос, тріщини та інші дефекти на поверхні зубів можуть призводити до нерівномірного розподілу навантаження та погіршення ефективності передачі обертового моменту.

Загальний стан складних редукторів та мультиплікаторів може визначати їхню загальну надійність та термін служби. Проблеми, такі як деформації корпусу, неправильне з'єднання компонентів чи витрати ефективності у складних механізмах, можуть потребувати комплексного аналізу та ремонту.

Пошук дефектної зубчастої пари є важливим етапом діагностики. Виявлення нерівномірності або пошкодження зубів дозволяє вчасно вжити заходів для уникнення аварій та витрати ефективності.

Співосність валів редуктора важлива для забезпечення правильного та стабільного обертання. Неправильна співосність може викликати вібрації та збільшений знос підшипників та інших елементів системи.

Ці проблеми можуть виникати з різних причин, включаючи інтенсивну експлуатацію, неправильне обслуговування, виробничі дефекти та природний знос. Розпізнавання та вчасний ремонт цих проблем є важливим для забезпечення тривалої та ефективної роботи редукторів та мультиплікаторів.

1.2.5 Проблеми електричних машин

Проблеми, пов'язані з електричними машинами, можуть виникати в різних частинах їхньої конструкції та впливати на їхню ефективність та надійність.

Неправильний взаємний монтаж ротора та статора може призводити до нерівномірного розподілу магнітних полів, що може спричинити вібрації та збільшити ризик зносу.

Ексцентриситет ротора та статора, який вказує на невірне центрування їхніх вісей обертання, може призводити до нерівномірного зносу підшипників та погіршення роботи машини.

Тріщини в стрижнях ротора чи короткозамикання кільця можуть виникнути внаслідок високих навантажень чи неправильного виробництва, призводячи до збоїв в роботі та зниження ефективності машини.

Обрив та вигорання стрижнів є серйозними дефектами, що можуть виникати внаслідок перевантаження, короткого замикання чи несправності ізоляції, і призводять до виходу з ладу елементів машини.

Дефекти зубців-пазової структури, такі як неправильності в роботі зубців або їхні відступи, можуть призводити до нестабільного руху ротора та збільшення втрат ефективності.

Ці проблеми можуть виникати внаслідок різних факторів, таких як неправильна експлуатація, виробничі дефекти, недостатнє обслуговування чи перевантаження машин. Вчасне виявлення та усунення цих дефектів є ключовим для забезпечення безперебійної роботи електричних машин.

1.2.6 Аеродинамічні та гідравлічні проблеми

Аеродинамічні та гідравлічні проблеми можуть серйозно впливати на ефективність та надійність обладнання, зокрема насосів. Розглянемо деякі з них.

Лопаткова вібрація та загальний стан лопаток насоса можуть бути результатом невірної настройки або нерівномірного розподілу навантаження

на лопатки. Це може викликати вібрації та шум, що в свою чергу може призводити до прискореного зносу та зниження ефективності насоса.

Дефекти проточної частини, такі як подряпини, тріщини чи подібні пошкодження, можуть створювати турбулентний потік, погіршувати гідравлічний профіль та зменшувати ефективність насоса.

Турбуленція потоку в насосі може виникати через неправильне геометричне проектування або невірне розташування лопаток, що може викликати великі втрати енергії та неправильну роботу насоса.

Кавітація виникає, коли тиск в робочому середовищі насоса опускається нижче тиску насиченого пару, що може спричинити утворення парового бульбашки. Це може впливати на ефективність, спричиняти шум та викликати пошкодження лопаток та інших частин насоса.

Знижений тиск на вході насоса може виникати через неправильне розташування або проблеми зі зливом. Це може призводити до втрат потужності та недостатнього навантаження насоса.

Ці аеродинамічні та гідравлічні проблеми можуть бути наслідком неправильної експлуатації, неякісного обслуговування, а також виробничих дефектів. Виявлення та усунення цих проблем є важливими для забезпечення ефективної та безперебійної роботи гідравлічного обладнання.

1.2.7 Проблеми гвинтових компресорів

Проблеми, пов'язані з гвинтовими компресорами, можуть виявлятися в різних аспектах їхньої роботи та структурних елементів.

Визначення гвинтового вала з дефектами підшипників є критичною проблемою, оскільки стан підшипників прямо впливає на ефективність та стабільність роботи компресора. Дефекти у підшипниках можуть включати подряпини, тріщини, або зношеність, що призводить до неправильної подачі елементів компресованого газу та може викликати витіки чи втрату тиску.

Зменшення зазору між гвинтовими валами може виникнути внаслідок зносу або деформації елементів системи, що спричиняє підвищене тертя та

нагрів, тим самим зменшуючи продуктивність компресора. Це може також призвести до нерівномірного розподілу навантаження та впливати на загальну надійність обладнання.

Наявність місцевих дефектів на поверхні гвинтових валів може бути зумовлена виробничими або експлуатаційними факторами. Такі дефекти, як випучення, вибоїни або тріщини, можуть призвести до нерівномірного струму газу та зміни гідравлічної форми гвинтового профілю, що в свою чергу впливає на здатність компресора до ефективного стискання газу.

Ці проблеми гвинтових компресорів можуть призводити до збоїв в роботі, зниження продуктивності, підвищеного споживання енергії та вимагати складних ремонтних заходів. Зазвичай, вони виникають внаслідок неправильної експлуатації, недостатнього технічного обслуговування чи зносу внаслідок довготривалої експлуатації обладнання.

1.2.8 Агрегатні проблеми

Агрегатні проблеми в механічному обладнанні можуть проявлятися різноманітною спектром дефектів, що впливають на ефективність та надійність системи. Контроль монтажу різних типів муфт грає ключову роль у забезпеченні правильної роботи механізму.

Дефекти, пов'язані з муфтами, можуть включати неправильний зазор між елементами, знос матеріалів, пошкодження зубчастих поверхонь та інші аномалії, що призводять до неправильного передачі обертового моменту та можуть спричиняти вібрації та шум.

Пошук дефектів типу зносу, «коліно», «маятник» та «ламання вісі» становить важливий аспект аналізу агрегата. Знос може виникати внаслідок тривалого використання та тертя між поверхнями, що може спричинити втрату геометричної точності та зниження ефективності.

Правильність встановлення та монтажу агрегата визначається якістю робіт і може включати в себе неправильне вирівнювання, недостатнє

змащення або неправильну фіксацію компонентів, що може призводити до надмірного зносу та втрати ефективності.

Ослаблення кріплення механізмів та всього агрегата може виникнути через довготривалу експлуатацію, низьку якість матеріалів або неправильний монтаж. Це може впливати на стабільність агрегата та викликати небезпеку аварійного руйнування.

Зазначені проблеми можуть негативно впливати на функціонування агрегата, призводити до збоїв в роботі та зменшення ефективності системи в цілому. Їх виникнення часто пов'язане зі зносом, неправильним технічним обслуговуванням чи неякісним виробництвом та монтажем компонентів.

1.2.9 Проблеми центрування валів механізмів

Центрування валів у механізмах є ключовим аспектом для забезпечення правильної роботи та ефективності обладнання. Проблеми центрування валів можуть виникати з різних причин і мати різні наслідки.

Неправильне центрування валів може виявлятися у великому ряді проявів. Наприклад, нерівномірність обертальних рухів валів може призводити до нестабільності робочого процесу та великих механічних навантажень. Це, в свою чергу, може викликати прискорений знос підшипників, підвищене тертя та нагрівання.

Додатково, неправильно центровані вали можуть викликати вібрації та ударні навантаження, що призводять до механічного втомлення матеріалів та підвищення ризику поламання чи тріщин. Ці проблеми не тільки знижують продуктивність механізму, але й можуть призвести до негайного виходу з ладу обладнання.

Причини проблем центрування можуть включати неправильний монтаж, деформації або пошкодження валів, неправильність обробки та виготовлення компонентів. Брак у точності виготовлення або використання застарілих матеріалів також може спричинити неправильне центрування.

В подальшому ці проблеми можуть призвести до серйозних наслідків, таких як поломка обладнання, значні ремонтні витрати та зниження продуктивності виробництва. Забезпечення правильного центрування валів важливо для тривалого та надійного функціонування механізмів.

1.3 Огляд можливостей завчасної ідентифікації механічних дефектів

Механічні несправності, які можуть виникнути у частинах промислового обладнання, є результатом різноманітних факторів, що не завжди пов'язані між собою. Ці дефекти є суттєвим обмеженням для ефективності та тривалості служби обладнання. Професійне виявлення цих дефектів вимагає застосування різноманітних методів, що враховують специфіку кожного випадку.

Працівники, які проводять ідентифікацію дефектів, повинні мати високу кваліфікацію і бути озброєні розумінням різних методів, їх можливостей та обмежень. Тільки такий комплексний підхід дозволяє ефективно виявляти та усувати механічні дефекти, забезпечуючи надійну та безпечну експлуатацію промислового обладнання.

1.3.1 Візуальна інспекція

Візуальна інспекція вважається найбільш доступним методом виявлення механічних дефектів у різноманітних конструкціях. Здійснюючи візуальний огляд всіх складових частин, включаючи підшипники, зубчасті передачі, вал і витратні деталі, цей метод забезпечує можливість оперативного виявлення видимих недоліків. Його перевагою, безумовно, є його простота в реалізації та економічність.

Однак важливо враховувати обмеження цього методу, зокрема його обмежену ефективність у виявленні прихованих дефектів. У важко-доступних місцях обладнання може виникнути суттєва складність при проведенні візуальної інспекції. Необхідно також відзначити, що успішність даного

методу визначається великою мірою рівнем освітлення під час інспекції, чистотою та якістю поверхонь, які піддаються перевірці, а також зоровими здібностями фахівця, який проводить огляд. Такі фактори впливають на точність та об'єктивність виявлення можливих дефектів.

1.3.2 Інфрачервона термографія

Інфрачервона термографія, як метод діагностики промислового обладнання, виявляє аномальне нагрівання, яке може вказувати на наявність різних механічних дефектів. Цей метод привертає увагу своєю можливістю проводити перевірку обладнання без контакту в режимі реального часу. Важливою перевагою є можливість виявити зміни в температурі, що може свідчити про потенційні проблеми.

Завдяки інфрачервоній термографії можна швидко визначити області аномального нагріву, що може служити попередженням перед поломкою обладнання. Такий метод забезпечує оперативне реагування на потенційні небезпеки та знижує ризик витрат через ремонтні роботи.

Варто враховувати, що, незважаючи на свої переваги, інфрачервона термографія має певні обмеження. Наприклад, вона ефективна при значних різницях температур, тому в окремих ситуаціях виявлення механічних дефектів може бути менш точним. Також, важливо пам'ятати, що цей метод не завжди може детально ідентифікувати конкретний механічний дефект, що вимагає додаткового аналізу та обстеження обладнання іншими методами.

1.3.3 Магнітний аналіз

Магнітний аналіз є методом, що відзначається своєю екзотикою в сфері діагностики промислового обладнання. В основі його принципу лежить використання магнітних датчиків, завдяки яким можна виявляти аномалії в магнітному полі електродвигуна. Цей метод виявляє високу чутливість до будь-яких змін у магнітній структурі, що може служити свідченням про можливі проблеми у роботі ключових елементів, таких як статор, ротор чи

підшипники. Ефективність магнітного аналізу полягає в його здатності виявляти інформацію про стан елементів обладнання, яка залишається непомітною для більшості інших методів діагностики.

Незважаючи на вагомі переваги, магнітний аналіз має свої недоліки. Зокрема, він виявляє підвищену чутливість до електромагнітних впливів навколишнього середовища, що може впливати на точність отриманих результатів. Крім того, цей метод не завжди надійно фіксує та ідентифікує невеликі та приховані пошкодження механічного походження, оскільки його основний акцент спрямований на магнітні аспекти.

1.3.4 Вібраційний аналіз

Вібраційний аналіз, який використовується для діагностування промислового обладнання, є ефективним методом виявлення потенційних відхилень у функціонуванні механічних систем. Здійснення вимірювань вібрацій у різних точках дозволяє точно визначити проблемні області, які можуть бути невидимими ззовні або знаходитися в місцях малих розмірів.

Однією з головних переваг цього методу є здатність виявлення дефектів на етапі їхнього початкового розвитку. Це дозволяє уникнути серйозних пошкоджень та ремонтних робіт, що зменшує експлуатаційні витрати. Важливою особливістю вібраційного аналізу є можливість реагувати на відхилення ще до того, як вони призведуть до великих порушень у роботі механізму.

Однак важливо враховувати, що успішність використання цього методу значно залежить від якості вимірювального та аналітичного обладнання. Високі вимоги до точності і надійності приладів, які застосовуються для збору та обробки даних, можуть впливати на ефективність діагностики. Таким чином, важливо забезпечити належне обслуговування та калібрування обладнання, щоб уникнути похибок та забезпечити достовірні результати вимірювань.

1.3.5 Висновки стосовно методів діагностування

Серед доступних методів, вибір вібраційного діагностування обґрунтований його перевагами над іншими методами, такими як візуальний аналіз, магнітний аналіз та інфрачервона термоскопія.

Вібраційне діагностування надає деталізовану інформацію про механічний стан обладнання, виявляючи не тільки наявні дефекти, але і їхні типи та ступінь важкості. Інтеграція аналізу вібрацій дозволяє прогнозувати та уникати виникнення проблем, забезпечуючи планове обслуговування та подовжуючи термін служби обладнання. Вібраційне діагностування може виявляти різноманітні дефекти, включаючи нерівномірність валу, пошкодження підшипників, відсутність балансу та інші, що робить його універсальним методом. На відміну від інших методів, аналіз вібрації здатний надавати реальну кількісну та якісну інформацію про те чи інше пошкодження у математичному вигляді, що суттєво спрощує подальше прийняття рішення стосовно стану обладнання.

1.4 Вібраційне діагностування як предмет дослідження

Як вже раніше згадувалось, предметом дослідження в даній роботі виступає можливість автоматизованого аналізу вібраційного сигналу з подальшим його використанням для виявлення механічних пошкоджень у промисловому обладнанні.

Вібраційне діагностування є високоточним методом аналізу вібрацій, який використовується для виявлення та оцінки механічного стану обладнання. Цей процес базується на реєстрації та інтерпретації вібраційних сигналів, які виникають під час роботи механічних систем.

Збір вібраційних даних виконується за допомогою спеціальних сенсорів та приладів, розташованих на об'єкті дослідження. Сигнали, отримані з цих сенсорів, піддаються детальному аналізу для визначення основних параметрів вібрацій, таких як частота, амплітуда і форма хвилі.

Важливою складовою вібраційного діагностування є визначення вібраційного спектра, який відображає вклад кожної частоти у загальний сигнал. Цей аналіз дозволяє ідентифікувати аномалії та артефакти, пов'язані з роботою обладнання.

Метою вібраційного діагностування є виявлення потенційних дефектів або відхилень у роботі механічних систем, таких як невірний баланс, тріщини, знос чи дисбаланс. Цей підхід дозволяє проводити проактивне обслуговування та управляти ресурсами обладнання, забезпечуючи його ефективну та безперебійну роботу.

Перший крок в проведенні вібраційного діагностування – це встановлення спеціальних сенсорів на об'єкті дослідження. Ці сенсори реєструють вібрації, що виникають під час роботи механізмів і перетворюють їх на вимірювальний сигнал.

Вимірювальні сигнали піддаються аналізу щодо часових та частотних характеристик. Часовий аналіз визначає динаміку змін вібрацій протягом часу, тоді як частотний аналіз вказує на частоти, які присутні в сигналі та їхні амплітуди.

Однією з ключових операцій є визначення вібраційного спектра, який відображає розподіл частот у вимірювальному сигналі. Це важливо для ідентифікації конкретних аномалій чи дефектів у системі.

Визначення амплітуд та частот вібрацій дозволяє встановити величину та частоту коливань, що є ключовими параметрами для виявлення аномалій.

Отримані результати порівнюються з базовими параметрами роботи обладнання. Кореляція з даними проекту, розрахунками та нормами допомагає визначити, чи відповідають вимірювані параметри нормальному функціонуванню.

Результати вібраційного діагностування фіксуються та документуються для подальшого моніторингу. Це дозволяє проводити порівняльний аналіз стану обладнання в різні періоди та при необхідності вживати відповідні заходи.

Залежно від обраного методу вібраційного діагностування обладнання, аналіз та обробка отриманих результатів можуть дещо відрізнятись. Проте основна суть цього процесу залишається незмінною і завжди дозволяє досягти високої точності та адекватності отриманих висновків.

1.6 Огляд діючих рішень в області вібраційного діагностування

Сучасні рішення в області вібраційного контролю можна поділити на дві великі групи. Мобільні системи діагностування – рішення для періодичного вібраційного діагностування великої кількості обладнання. Стаціонарні системи діагностування – комплексні рішення для постійного контролю за станом контрольованого обладнання.

Технічна будова цих систем включає чутливі сенсори, розташовані безпосередньо на контрольованому об'єкті, що реєструють вібраційні коливання. Отримані дані передаються вимірювальним пристроям з програмним забезпеченням для аналізу параметрів вібрації.

Мобільні системи вібраційного діагностування відзначаються головним чином мобільністю стосовно місця застосування. Певний працівник підприємства отримує вимірювальний прилад з набором датчиків. З цим комплектом він рухається по певному діагностичному маршруту між різними агрегатами та установками, виконуючи вимірювання вібрації та зберігаючи їх у приладі. По завершенню проходження маршруту, працівник повертається на своє робоче місце, де завантажує усі результати вимірювання на комп'ютер для подальшого аналізу та визначення певних результатів.

Перевагою даного виду вимірювально-діагностичних систем є їх ціна використання. Одним комплектом можна виконувати контроль за великою кількістю обладнання на підприємстві. Проте, не дивлячись на високу мобільність та вартість застосування таких систем вимірювання вібрації, вони мають багато недоліків та обмежень, що можуть суттєво перебивати переваги від їх використання.

Для проведення вібраційного контролю, працівник повинен фізично знаходитись на об'єкті дослідження. Це означає, що він повинен витратити час на дорогу до місця вимірювання та навпаки – до робочого місця. Іноді, доступ до цього місця може бути досить ускладненим або зовсім неможливим. Крім того, перед виконанням вимірювання, йому необхідно встановити усі необхідні датчики. Ця операція може потребувати певних заходів по підготовці місця вимірювання, зупинки або запуску агрегату в невдалий час, проведення калібрування вимірювального обладнання. Також, не слід забувати про необхідність високого рівня кваліфікації працівника що виконує вимірювання. Неправильне встановлення датчиків, хибне трактування результатів та можливе пошкодження вимірювального обладнання через його часте переміщення – може суттєво погіршувати якість отриманих результатів. Звісно, через необхідність постійного переміщення обладнання, жодної мови про можливість інтеграції таких систем з АСУ підприємства не йде.

Стаціонарні системи вібраційного діагностування представляють собою альтернативу мобільним рішенням і відрізняються своєю стійкістю та низькою залежністю від місця застосування. На відміну від мобільних систем, стаціонарні вимірювально-діагностичні комплекси закріплені на певному об'єкті або виробничій лінії, що дозволяє їм функціонувати без необхідності постійного переміщення та присутності виробничого персоналу у місці вимірювання.

Основною перевагою стаціонарних систем є їхня висока точність та стабільність вимірювань. Оскільки обладнання залишається на місці, немає необхідності встановлювати датчики перед кожним вимірюванням чи проводити повторну калібрування. Це дозволяє значно скоротити час, необхідний для підготовки до вимірювань та забезпечує стабільність умов дослідження. Звичайно, нівелюється вплив персоналу на результати вимірювання. Крім того, стаціонарні системи забезпечують зручність інтеграції з АСУ підприємства. Оскільки обладнання збору та обробки інформації залишається на одному місці – можливість його інтеграції суттєво

ширші аніж у мобільних систем. Можливості стаціонарних систем дозволяють організувати збір даних вібрації з великої кількості обладнання одночасно у режимі реального часу, їх централізованої обробки та зберігання, а також забезпечують гнучкий доступ до результатів з робочих місць персоналу підприємства.

Однак, на відміну від мобільних систем, стаціонарні комплекси є більш затратними з точки зору вартості задіяного обладнання на один контрольований об'єкт.

Якщо порівнювати усі переваги та недоліки обох варіантів виконання систем вібраційного діагностування механічного стану обладнання, то стає зрозумілим, що вибір конкретного варіанту виконується з урахуванням наступних пунктів:

- періодичність спостереження а обладнанням;
- кількість контрольованого обладнання;
- вимоги до точності результатів;
- необхідність інтеграції з АСУ підприємства;
- доступність результатів дослідження стану обладнання;
- обсяг можливих витрат на впровадження вібраційного контролю.

Окремим питанням постає закритість архітектури усіх представлених на даний момент систем вібраційного контролю. Кожен виробник, що постачає ті чи інші рішення в області вібраційної діагностики є зацікавленим у збереженні своїх розробок і утримуванні клієнтів від переходу на інше обладнання. Через це, у разі виникнення проблем в експлуатації вимірювального обладнання, споживачі вимушені замовляти аналогічне обладнання від того самого виробника незважаючи на наявність більш дешевих або якісних вузлів системи. Через це, створення універсальних стаціонарних систем вібраційного діагностування, що включають усі переваги обох варіантів виконання – є досить важливим.

2. ЗАВДАННЯ ТА ВИМОГИ ДО ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Обґрунтування створення нової системи

У сучасних умовах важко завжди ефективно контролювати стан великої кількості промислового обладнання на великих підприємствах, особливо використовуючи мобільні системи вібраційного діагностування. Використання мобільних комплексів вібраційного діагностування може призводити до наступних проблем: необхідність утримання великого штату кваліфікованих працівників, постійне переміщення для встановлення вимірювальних пристроїв та витрати часу на обстеження об'єкту.

На фоні мобільних рішень, використання стаціонарних систем вібраційного діагностування є більш привабливим. Більш висока точність та стабільність, певні можливості інтеграції з АСУ підприємств, можливість глибокого аналізу та збір інформації в режимі реального часу є більш привабливими для споживачів. Проте, висока вартість обладнання, обмежені можливості масштабування та закритість архітектури таких систем від сторонніх постачальників – відштовхують підприємства від застосування даних рішень.

У контексті підприємств будь-якого розміру виникає потреба у створенні уніфікованої системи вібраційного діагностування, яка б забезпечувала легке масштабування на велику кількість об'єктів спостереження. Така система повинна мати можливість централізованого, проте автономного збору та обробки результатів вимірювання. Важливими критеріями також є безпечний та швидкий доступ до інформації з різних робочих місць, що базуються на різному обладнанні. А головне – така система повинна дозволити впровадження та корегування її можливостей як в технічному так і в програмному напрямку з метою її подальшої оптимізації, модернізації та інтеграції з іншими системами підприємства.

2.2 Вимоги до можливостей проектованої системи

Проектowana система вібраційного діагностування механічного стану промислового обладнання повинна реалізовувати наступні можливості:

- вимірювання вібраційного сигналу контрольованого об'єкта у трьох координатних напрямках (вертикальна, горизонтальна та осьова вібрація);
- виділення швидкісної, прискорюючої та переміщуючої складової частини вібраційного сигналу;
- представлення часової реалізації вібраційного сигналу;
- представлення частотної реалізації вібраційного сигналу;
- представлення огибаючої складової;
- представлення спектру частот огибаючої складової;
- розрахунок та представлення графіку гармонік сигналу;
- реалізація кепстрального аналізу виміряного сигналу;
- реалізація розрахунку потужності сигналу у виділеному проміжку.

Створювана автоматизована система повинна реалізовувати можливість ідентифікації наступних дефектів у роботі обладнання.

Проблеми підшипників ковзання:

- проблеми збільшеного зазору в підшипнику;
- виявлення наявності дефектів поверхні вкладиша, дефекту шийки вала;
- мастильні вібрації;
- проблеми монтажу, ослаблення кріплення, перекося;
- еліпсоїдність, багатогранність шийки вала.

Загальні проблеми механізмів:

- невірноваженість роторів, потреба у вирівнюванні;
- вигини валів;
- збільшення зазорів, люфти, механічні ослаблення;
- задівання та тертя всередині механізмів та в ущільненнях;
- дефекти монтажу та стану ремінних та ланцюгових передач.

Проблеми редукторів та мультиплікаторів:

- стан зубчатих пар, знос, тріщини;
- загальний стан складних редукторів та мультиплікаторів;
- пошук дефектної зубчатої пари;
- співосність валів редуктора.

Проблеми електричних машин:

- неправильний взаємний монтаж ротора та статора;
- ексцентриситет ротора;
- ексцентриситет статора;
- тріщини в стрижнях ротора чи короткозамкнених кільця;
- обрив, вигорання стрижнів;
- дефекти зубців-пазової структури.

Аеродинамічні та гідравлічні проблеми:

- лопаткова вібрація, загальний стан лопаток насоса;
- дефекти проточної частини;
- турбуленція потоку;
- кавітація, знижений тиск на вході насоса.

Проблеми гвинтових компресорів:

- визначення гвинтового вала з дефектами підшипників;
- зменшення зазору між гвинтовими валами;
- наявність місцевих дефектів на поверхні гвинтових валів;

Агрегатні проблеми:

- контроль монтажу жорстких, гнучких, зубчастих та інших муфт;
- пошук дефектів типу зносу, «коліно», «маятник», «ламання вісі»;
- правильність встановлення та монтажу агрегата;
- визначення ослаблень кріплення механізмів та всього агрегата;

Проблеми центрування валів механізмів.

Проблеми підшипників кочення:

- перекося зовнішньої обойми при посадці;
- неоднорідний радіальний натяг підшипника;
- ковзання обойми в місці посадки;

- ослаблення кріплення корпусу підшипника;
- задівання в підшипнику та ущільненнях;
- збільшені зазори в підшипнику;
- знос поверхні зовнішньої обойми;
- знос поверхонь тіл кочення та сепаратора;
- знос поверхні внутрішньої обойми;
- дефект групи поверхонь тертя;
- раковини (тріщини) на зовнішній обоймі;
- раковини (тріщини) на внутрішній обоймі;
- раковини (тріщини) на тілах кочення;
- зкатування зовнішньої обойми.

2.3 Вимоги до структури проектованої системи

Розроблювана система повинна мати розподілену структуру вимірювання з автономними вузлами збору інформації. Загальна реєстрація та обробка результатів вимірювань повинна виконуватись у центральному вузлі системи з можливістю окремого віддаленого зберігання інформації.

Вимірювання вібрації кожного окремого агрегату повинно відбуватись за допомогою комплекту датчиків. Кількість первинних перетворювачів для кожного зразка промислового обладнання може суттєво відрізнятись через різну кількість точок вимірювання. Проте максимальна їх кількість не повинна перевищувати 24 датчика на агрегат (8 точок вимірювання по 3 датчика на точку). Вимірювання вібрації повинно відбуватись у трьох напрямках: вертикальному, горизонтальному та осьовому. Таким чином, необхідно організувати можливість створення груп точок вимірювання, що будуть закріплюватись за кожним з механізмів та поділені на підгрупи по три первинних перетворювача на кожну точку.

Передбачається, що кожен контрольований об'єкт може знаходитись на значному віддаленні від блоку обробки інформації автоматизованої системи,

може бути рухомим, або важкодоступним. Через це, необхідно передбачити проміжкові вузли підключення, що будуть розташовуватись недалеко від обладнання та зможуть передавати зібрану інформацію в систему.

Відомо, що до складу однієї промислової установки можуть входити десятки агрегатів та окремих зразків обладнання. Також, в межах одного цеху можуть зустрічатись великі кількості агрегатів, задіяних в одному технологічному процесі. Зважаючи на це, потрібно передбачити вузли обробки інформації, що будуть отримувати показники вібрації від груп агрегатів та обладнання, що пов'язані з певним технологічним процесом або ділянкою.

Зібрана та оброблена інформація, від кожного вузла ділянки повинна надходити до центрального вузла системи. Даний вузол повинен дублюватись. Задача такого вузла – кінцева обробка інформації з подальшим винесенням діагностичного рішення стосовно стану певного механізму.

Додатковим завданням центральних вузлів системи повинно стати організація накопичення та тимчасового зберігання зібраної інформації. В подальшому, дані про вібрацію та прийняті висновки повинні надсилатись на сервер та зберігатись у базі даних з метою їх архівації.

Для кожного з вповноважених працівників контрольної служби необхідно організувати доступ до даних з вузлів ділянок, центральних вузлів та даних з сервера. Для цього, кожне робоче місце цих працівників повинно оснащуватись програмою, що здатна в режимі реального часу відображати стан вимірювання на необхідних об'єктах, або відображати архівні записи вимірювання вібрації з сервера. Крім того, дане програмне забезпечення повинне давати доступ до висновків експертного модуля системи в режимі реального часу.

З точки зору організації зв'язку між вузлами системи, вона повинна поділятись на три зони: перша – локальна мережа, що застосовується для збору інформації про вібрацію та її передачі до вузлів агрегатів; друга – внутрішня мережа, що використовуватиметься для передачі інформації від кожного

вузла агрегату до відповідального вузла ділянки; третя – зовнішня мережа, що застосовуватиметься для обміну інформацією між вузлами ділянок, центральним вузлом системи, сервером та робочими місцями операторів та відповідального персоналу підприємства. По суті, зовнішня мережа повинна являти собою промислову мережу.

На рисунку 2.1 відображена бажана структура системи

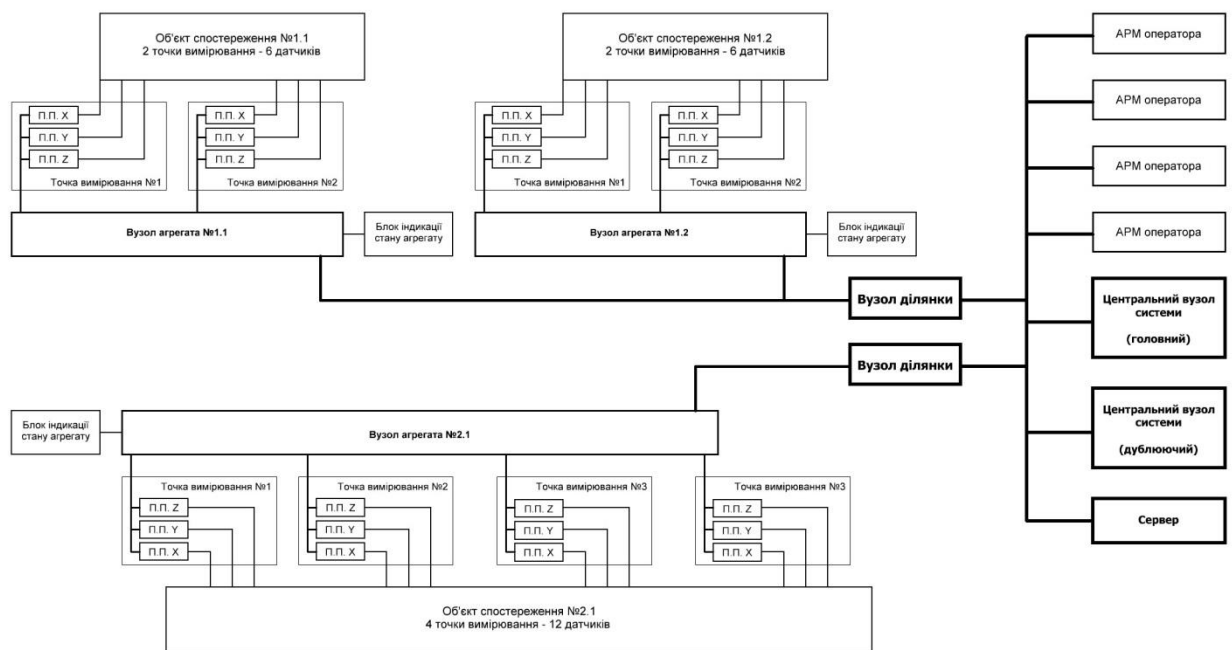


Рисунок 2.1 – Очікувана структура системи контролю механічного стану

Як видно з рисунку 2.1, кожен об'єкт спостереження може мати до 8 точок вимірювання по 3 датчики у кожній. За кожен об'єкт спостереження відповідає свій власний вузол агрегату, до якого відноситься також блок сигналізації стану даного агрегату. Усі первинні перетворювачі агрегату приєднуються до вузла агрегату (максимально 24 датчика).

Кожен вузол агрегату підпорядковується відповідальному вузлу ділянки, куди і повинен надсилати усі виміри, та від якого – приймати сигнали про стан агрегату. Кожен вузол ділянки може відповідати за велику кількість вузлів агрегатів.

Загальне керування системою та централізований збір а також обробка інформації виконується завдяки дубльованому центральному вузлу системи. Він, як і вузли ділянок має вихід у зовнішню мережу, через яку і спілкується з ними.

До зовнішньої мережі підключається також сервер, на якому виконується архівація результатів вимірювання вібрації та висновки про стан агрегатів. Через ту-ж саму мережу виконується підключення місць операторів, через які, за допомогою спеціальних програм, вони мають можливість переглядати дані системи діагностування на редагувати її налаштування.

2.4 Вимоги до технічного комплексу проектованої системи

Технічна складова проектованої автоматизованої системи вібраційного діагностування промислового обладнання повинна розраховуватись з огляду на наступні критерії:

- стійкість до умов середовища вимірювання;
- модульність та взаємозамінність основних частин;
- уніфікація застосованих технічних рішень;
- легкість та доступність елементів для їх обслуговування;
- відмово-стійкість та незалежність ключових елементів;
- наявність 15% надлишкового запасу технічних можливостей.

При проектуванні системи, її вимірювальні прилади повинні об'єднуватись в групи відповідно до зони виконання вимірювання. Кожна група, що об'єднує у собі первинні перетворювачі певної точки виміру – повинна в свою чергу входити до складу групи агрегату. Кожна група агрегату повинна включати до свого складу усі групи вимірювальних приладів, що відносяться конкретно до цього обладнання.

Усі технічні рішення, що відносяться до рівня агрегату, повинні відповідати вимогам пиле-, вологозахисту мінімум IP65, бо розміщуватимуться безпосередньо на об'єкті вимірювання, або поруч з ним.

Кожен вимірювальний прилад повинен закріплюватись за допомогою розбірного з'єднання на контрольованому об'єкті.

Вузловий блок групи агрегату повинен розміщуватись у герметичному боксі недалеко від об'єкту. При цьому, даний бокс повинен мати можливість легкого доступу до його технічного обладнання.

Вузол агрегату не повинен виконувати ніяких розрахунків. Його завдання лише транслювати отриману інформацію до інформаційної системи при надходженні запиту. Підключення до інформаційної мережі повинно виконуватись бездротовим з'єднанням. Це забезпечить можливість застосування системи на рухомому або важкодоступному обладнанні.

Кожен вузол агрегату повинен закріплюватись за вузлом ділянки підприємства. Приймальна частина даного вузла повинна розміщуватись так, що-б мати можливість отримувати інформацію від вузлів агрегатів з хорошою якістю з'єднання. Дана частина технічного обладнання вузла ділянки повинна також розміщуватись у герметичному боксі з такими-ж вимогами до фізичного захисту та доступності.

До складу блоку вузла ділянки повинен входити електронний обчислювальний пристрій. Даний пристрій повинен мати високу відмовостійкість, промислове виконання та можливість легкої заміни. Приєднання вузла ділянки до інформаційної системи підприємства повинно виконуватись дротовим методом. Звичайно, кожен вузол ділянки повинен бути автономним.

На рівні кожного вузла ділянки повинна передбачатись система сигналізації стану обладнання. Індикація загального стану всього обладнання кожного окремого агрегату повинна відбуватись окремим світловим індикатором. Окремо, необхідно відображати стан підключення до внутрішньої та зовнішньої інформаційних систем та наявність живлення.

Конкретні технічні вимоги до серверного обладнання висуватись не можуть, бо його розміщення завжди виконується у спеціальних приміщеннях. Саме серверне обладнання може виконувати багато функцій не пов'язаних з

системою контролю вібрації. Єдиною вимогою є наявність дубльованого з'єднання з промисловою мережею.

Центральні блоки системи вібраційного діагностування повинні розміщуватись в окремому герметичному боксі, мати дубльоване та резервне живлення, а також власні взаємно-дубльовані виходи до інформаційної мережі підприємства.

На боксі центральних блоків повинен розміщуватись панельний комп'ютер з можливістю керування кожним з блоків. Окремо повинні відображатись стан підключення мережі та наявності помилок в роботі системи.

2.5 Вимоги до програмного комплексу проектованої системи

Програмний комплекс системи контролю механічного стану обладнання повинен складатись з кількох частин:

- програмне забезпечення вузлів ділянок;
- програмне забезпечення центральних вузлів системи;
- серверне програмне забезпечення;
- програмне забезпечення клієнта.

Програмне забезпечення вузлів ділянок повинно забезпечувати збір та первинну обробку інформації про вібрацію на об'єктах, контрольованих вузлами агрегатів. Дані про вібраційні виміри повинні постійно надходити до обчислювального пристрою вузла. Отримана інформація повинна упорядковуватись та проходити первинну обробку. Метою даної операції повинно стати отримання структурованих записів про вібрації агрегатів з розрахованими показниками первинних параметрів. Оброблені виміри повинні передаватись до центрального вузла системи. Крім того, дане програмне забезпечення повинно мати можливість обробляти вхідні запити від системи, що можуть містити інформацію про наявність порушень в роботі підпорядкованих агрегатів. Результатом обробки таких запитів повинна бути

сигналізація стану кожного з агрегатів за допомогою відповідних світлових індикаторів на корпусі боксу вузла. Окремо необхідно передбачати можливість постійного контролю стану підключення до внутрішньої та зовнішньої інформаційної мережі шляхом постійних пінгуючих запитів.

Для налаштування та обслуговування вузлів ділянок необхідно створити клієнтське програмне забезпечення, що зможе самостійно знаходити усі активні вузли ділянок, отримувати доступ до їх налаштувань та дозволить їх змінювати. Крім цього, дане ПЗ повинно дозволяти переглядати стан надходження, обробки та обміну даними вібрації. Необхідно передбачити можливість захисту від несанкціонованого доступу.

Серверне програмне забезпечення повинно організувати отримання та архівацію інформації про стан вібрації усіх контрольованих агрегатів. Отримана інформація повинна передаватись до бази даних, звідки, за необхідності, за допомогою запиту від системи може бути надана у необхідному вигляді. Дане ПЗ повинно розраховуватись на використання під керуванням операційної системи Windows.

Програмне забезпечення центрального вузла системи автоматизованого вібраційного діагностування механічних дефектів повинно забезпечувати збір та автоматичну обробку інформації від усіх вузлів ділянок. Також потрібно забезпечити можливість відправки повідомлень певним вузлам з метою сигналізації про наявність проблем на тій ділянці. Окремо повинен реалізовуватись механізм перевірки доступності усіх підпорядкованих вузлів а також доступність сервера та підключених користувачів клієнтського ПЗ.

Для реалізації принципів безвідмовності системи, необхідно організувати синхронізацію усіх дій з резервним блоком з метою миттєвого перемикання на нього при появі проблем на даному центральному вузлі. Кожне з ПЗ центральних вузлів повинно бути автономним, проте слідкувати за роботою дублюючого вузла. При появі проблем, вони повинні миттєво сигналізувались індикатором на корпусі боксу вузла.

За-для реалізації можливостей місцевого контролю за роботою системи, дане ПЗ повинно реалізовувати функціонал клієнта через панельний комп'ютер та давати доступ до налаштувань системи. Доступ до функціоналу повинен обмежуватись для захисту від несанкціонованого доступу.

Клієнтське програмне забезпечення повинно надавати доступ до інформації про поточні та архівні показники вібрації на всьому контрольованому обладнанні. Реалізовувати можливості відображення різних трендів обраних параметрів та індикації висновків про стан того чи іншого агрегату. Також, дане ПЗ повинно надавати можливість отримувати інформацію про стан вібрації обладнання в режимі реального часу з можливістю перегляду детальної інформації про контрольований об'єкт.

2.6 Вимоги до безпеки даних проектованої системи

Організація захисту інформації з якою працюватиме автоматизована система вібраційного контролю механічного стану потрібна для унеможливлення випадкового або навмисного псування даних про виконані виміри та отримані результати. Це потрібно для нівелювання можливості умисного приховування інформації, що може свідчити про інформованість про стан обладнання, на якому відбувалась та чи інша аварія, призвівша до фінансових або людських втрат. Крім того, інформація про стан обладнання є комерційною таємницею кожного підприємства, тому не повинна знаходитись у вільному доступі.

З цих та інших причин, доступ до усього програмного забезпечення системи повинен відбуватись лише за наявності авторизованого облікового запису працівника підприємства, що має певні повноваження.

Для звичайних працівників – доступ до інформації повинен бути заборонений.

Працівник, що має право доступу обслуговуючого персоналу підприємства, повинен мати можливість переглядати поточний стан

обладнання, поточні та архівні показники вібрації а також журнал стану того чи іншого агрегату. При цьому доступ його до ПЗ, що дає можливість корегувати налаштування вузлів – повинен бути заборонений.

Користувач з правами адміністратора повинен мати доступ до всього комплексу програмного забезпечення системи включно з можливістю налаштування вузлів. Проте доступ до редагування архівної інформації повинен бути заборонений.

База даних та пам'ять вузлів, в яких зберігаються дані про вібрацію обладнання та результати діагностування, повинні мати захист від прямого втручання з метою зчитування та зміни. Дані користувачів повинні частково кодуватись для запобігання можливого використання їх в неправомірних цілях.

3. МАТЕМАТИЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Віброшвидкість, віброприскорення та вібропереміщення

Віброприскорення – це значення вібрації, безпосередньо пов'язане з силою, яка викликала вібрацію. Віброприскорення характеризує таку динамічну взаємодію елементів всередині агрегату, яка викликає дану вібрацію. Зазвичай віброприскорення відображається амплітудою – максимальним за модулем значенням прискорення в сигналі. Застосування віброприскорення теоретично ідеальне, оскільки п'єзодатчик (акселерометр) вимірює саме прискорення і його не потрібно спеціально перетворювати. Віброприскорення успішно використовується при діагностиці дефектів, що мають ударний характер – в підшипниках кочення, редукторах. Віброприскорення вимірюється в метрах на секунду в квадраті [м/с^2].

Віброшвидкість – це швидкість переміщення контрольної точки обладнання під час її прецесії вздовж вимірювальної вісі. Віброшвидкість вимірюється у міліметрах на секунду [мм/с].

У практиці зазвичай вимірюється не максимальне значення віброшвидкості, а її середньоквадратичне значення, СКЗ. Фізична сутність параметра СКЗ віброшвидкості полягає в рівності енергетичного впливу на опори машини реального вібросигналу та фіктивного постійного, числово рівного за величиною СКЗ. Використання значення СКЗ також обумовлене тим, що раніше вимірювання вібрації проводилося стрілочними приладами, а вони всі за принципом дії є інтегруючими та показують саме середньоквадратичне значення змінного сигналу.

Вібропереміщення вказує на максимальні межі переміщення контрольної точки під час вібрації. Зазвичай воно відображається амплітудою. Вібропереміщення – це відстань між крайніми точками переміщення обертового елемента обладнання вздовж вимірювальної вісі. Вібропереміщення вимірюється в лінійних одиницях: в мікрометрах [мкм].

Із двох широко використовуваних на практиці уявлень вібросигналів (віброшвидкість та вібропереміщення) віддається перевага використанню віброшвидкості, оскільки це параметр, що відразу враховує як переміщення контрольної точки, так і енергетичний вплив на опори від сил, що викликали вібрацію. Інформативність вібропереміщення може бути порівняна з інформативністю віброшвидкості лише за умови, коли додатково, окрім амплітуди коливань, будуть враховані частоти як загального коливання, так і його окремих складових. На практиці зробити це вельми проблематично.

Отже маємо наступне.

Вібропереміщення $x(t)$ – переміщення контрольної точки об'єкта вздовж вимірювальної вісі в певний момент часу:

$$x(t) = [\text{мм}]; \quad (3.1)$$

Віброшвидкість $v(t)$ – похідна від вібропереміщення по відношенню до часу. Визначає швидкість, з якою змінюється переміщення об'єкта в часі:

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = [\text{мм/с}]; \quad (3.2)$$

Віброускорення $a(t)$ – друга похідна від вібропереміщення по відношенню до часу. Показує, як швидко змінюється віброшвидкість (або швидкість зміни швидкості) в часі:

$$a(t) = \frac{d^2x(t)}{dt^2} = [\text{мм/с}^2]; \quad (3.3)$$

Це приклади отримання початкових показників вібрації з вимірюного вібраційного сигналу, що в подальшому використовуватимуться для математичних перетворень.

3.2 Математичні перетворення сигналу

Представлення сигналів віброшвидкості, вібропереміщення та віброприскорення відбуватиметься за формулами 3.1-3.3.

Представлення спектру частот сигналу виконується за допомогою методу FFT – швидке перетворення Фур'є:

$$FFT[x(t)](f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt; \quad (3.4)$$

Відповідно, спектр частот частини сигналу буде мати вигляд:

$$FFT[x(t) \cdot w(t)](f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot w(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt; \quad (3.5)$$

Тут $w(t)$ – функція вікна, що обмежить діапазон відображення.

Швидке перетворення Фур'є (FFT) є ефективним методом аналізу сигналів у частотному просторі. Воно використовується для перетворення сигналу з області часу у область частоти, дозволяючи визначити складові частоти сигналу. FFT широко використовується в цифровій обробці сигналів та інших областях, де аналіз частоти є ключовим.

Розрахунок та відображення огибаючої відбуватиметься так:

$$Envelope[x(t)](t) = \sqrt{Re[x(t)]^2 + Im[x(t)]^2}; \quad (3.6)$$

Додатково визначатимемо також спектр огибаючої:

$$FFT[Envelope[x(t)]](f) = \int_{-\infty}^{\infty} Envelope[x(t)] \cdot e^{-i2\pi ft} dt; \quad (3.7)$$

Огибающая сигнала (Envelope) визначає максимальні границі амплітуди сигналу в часі. Цей метод дозволяє виділити основні зміни в сигналі, інформацію про які можна використовувати для аналізу, визначення пікових значень та інших параметрів.

Далі на черзі йде визначення гармонік сигналу:

$$\text{Harmonics}[x(t)](f) = \text{FFT}[x(t)](f) - \text{Background}[x(t)](f); \quad (3.8)$$

Тут, $\text{Background}[x(t)](f)$ – фоновий спектр (наприклад, визначений згладжуванням).

Визначення гармонік (Harmonics) включає в себе розклад сигналу на компоненти з різними частотами, визначаючи таким чином основні та високочастотні складові сигналу. Цей метод корисний для виявлення конкретних частотних компонентів, які можуть вказувати на присутність основних змін в системі.

Для проведення кепстрального аналізу використовуватимемо формулу:

$$\text{Cepstrum}[x(t)](t) = \text{IFFT}[\log(\text{FFT}[x(t)])](t); \quad (3.9)$$

Слід зазначити, що IFFT – зворотнє перетворення Фур'є.

Кепстральний аналіз (Cepstrum) є методом, який використовується для аналізу часових сигналів у частотному просторі. Він дозволяє виділити періодичні структури в сигналі, що може бути корисним для виявлення особливостей та структур у сигналі.

Останнім виступає аналіз потужності сигналу у полосі:

$$\text{Power Spectrum Density}[x(t)](f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T} \right) \int_{-T/2}^{T/2} |X(f)|^2 df; \quad (3.10)$$

Спектральна густина потужності (Power Spectrum Density) представляє собою розподіл енергії сигналу в частотному діапазоні. Цей метод дозволяє визначити, яка частотна складова внесла найбільший внесок в загальну енергію сигналу. Спектральна густина потужності є інструментом для вивчення енергетичних характеристик сигналів.

Визначення дефектів виконуватиметься на основі частотного аналізу. Детальний перелік шаблонів частот збудження, їх детальний опис та формули розрахунку можна побачити у додатку.

4. ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

4.1 Рівень агрегату

За замислом, до рівня агрегату повинно входити вимірювальне обладнання та обладнання вузла агрегату. Загальним завданням даного комплекту засобів автоматизації виступає збір усієї інформації з об'єкту вимірювання та її загальна передача до вузла ділянки.

Маємо вимогу до максимальної кількості вимірювальних приладів на агрегат – 24. 8 точок вимірювання по 3 напрямки на точку. Вимірювання виконуватиметься спеціальними датчиками вимірювання вібрації (акселерометрами). Усі датчики повинні від'єднуватись до вузла агрегату, що розташовується на об'єкті, або поруч.

Для вимірювання вібрації застосовуватимуться акселерометри від фірми IFM-Electronics моделі VVB001. Це первинні перетворювачі вібрації, що здатен фіксувати вібраційне переміщення в одній вісі. Принцип вимірювання даного перетворювача – ємкісний, чутливість від 2 до 10000 Гц, діапазон вимірювання вібраційної швидкості від 0 до 45 мм/с, або вібраційне прискорення у діапазоні від 0 до 490 мм/с². Даний датчик оснащений інтерфейсом промислового зв'язку типу IO-Link. Цей прилад має ступінь захисту рівня IP67, що відповідає вимогам встановлення на об'єкт.

Для підключення необхідної кількості первинних перетворювачів, необхідний конвертор сигналів, що допоможе приєднати усі ці датчики до внутрішньої мережі. Для цього, обираємо конвертор від фірми IFM-Electronics моделі AL1122. Це контролер мережі IO-Link, що має на собі 8 окремих виходів для підключення гілок мережі IO-Link та може підключатись до мережі типу EtherNet/IP зі швидкість до 100 Мбит/с. Звичайно, даний прилад має клас захисту IP65, що дозволяє використовувати його в важких умовах. Враховуючи необхідну кількість окремо підключених датчиків – обираємо 4 таких прилади на один вузол агрегату.

ЗА умовою передбачається розміщення блоків вузлів агрегату безпосередньо на об'єкті або поруч, що може бути досить далеко від вузлів ділянки, або є мати стаціонарне положення. Це означає, що підключення до внутрішньої мережі повинно виконуватись бездротовим методом. Для реалізації таких можливостей обираємо модуль АWK-1137С від фірми Моха. Це модуль бездротового зв'язку, що дає можливість приєднувати прилади з інтерфейсом Ethernet до бездротової мережі. Даний модуль має порт для підключення до мережі Ethernet зі швидкістю 10/100 Мбит/с. Він використовує протоколи бездротового зв'язку типу 802.11a/b/g/n. Даний модуль має ступінь захисту IP30, проте він може працювати з виносними антенами, через це, може бути розміщений в герметичному боксі.

Для забезпечення можливостей індикації стану обладнання, до вузла агрегату потрібно додати модуль виведення дискретних сигналів релейного типу, що буде керувати світловими індикаторами при отриманні команди через Ethernet. Для цього використовуватимемо модуль віддаленого введення/виведення сигналів ADAM-6266 від компанії Advantech. Це модуль введення/виведення сигналів, що має 4 дискретні вводи та 4 релейні виходи. Даний модуль керується через мережу Ethernet та здатний працювати з різними протоколами обміну даними.

Для живлення даного комплекту обладнання використовуватиметься блок живлення LRS-50/24. Даний блок живлення забезпечує споживачів струмом з напругою 24В при максимальному споживанні 50 Вт. Хоча він і не має рівня захисту від пилу та вологи, проте він встановлюватиметься у закритому боксі.

Звичайно, для індикації стану обладнання використовуватимуться світлові індикатори: червоний – аварія агрегату, жовтий – живлення подано та зелений – підключено до системи. Для цього використовуватимуться світлові індикатори фірми OMRON моделей M22N-BC-TRA-RC, M22N-BC-TGA-GC та M22N-BC-TYA-YS. Ці індикатори розраховані на 24В постійного струму та мають рівень захисту лицевої частини – IP65.

4.2 Рівень ділянки

Рівень ділянки виконує роль збору вібраційної інформації та надання інформації про стан обладнання для його індикації на рівні вузлів агрегатів. Вузли рівня ділянки повинні мати автономну можливість первинної обробки отриманої інформації, через що – потребують наявності електронних обчислювальних пристроїв у своєму складі. Крім того, вони повинні мати вихід як до внутрішньої, так і до зовнішньої мережі підприємства для виконання функції накопичувача та передавача вимірної інформації та результатів первинної обробки до центрального блоку системи.

У якості обчислювального пристрою на даному етапі вважається доцільним використовувати програмовані логічні контролери. Їхніх можливостей по отриманню, накопиченню, опрацюванню та відправці інформації – цілком достатньо для виконання завдань системи на даному етапі. Крім того, їх висока надійність та комунікаційні можливості цілком задовольняють усім наявним потребам.

Відтак, у якості обчислювального пристрою вузла ділянки обираємо контролер CPU 1515-2 PN лінійки S7-1500 від фірми SIEMENS. Даний контролер має процесор з частотою 160 МГц, 1 МБайт швидкої пам'яті та 4,5 Мбайт пам'яті програми. Також, він підтримує використання карт пам'яті до 32 Гбайт, що досить важливо в рамках системи вібраційного діагностування для збереження отриманих та оброблених результатів. Даний контролер має також два незалежні контролери мережі PROFINET з можливістю підключення до мереж Ethernet.

Для підключення до внутрішньої мережі вузлів агрегатів можна застосувати такий самий модуль зв'язку, що і для рівня агрегату. Його можливості дозволяють виконувати функції маршрутизації бездротової мережі. Для живлення даного комплекту обладнання використовуватиметься блок живлення LRS-100/24. Даний блок живлення забезпечує споживачів струмом з напругою 24В при максимальному споживанні 100 Вт.

4.3 Рівень центрального вузла системи

Центральний вузол системи вібраційного діагностування зав'язаний виконувати велику кількість завдань зі збору вібраційної інформації від вузлів дільниць, їх повну та глибоку обробку та організацію зберігання інформації про результати діагностування. Окремо, центральний вузол системи повинен організовувати можливості місцевого та віддаленого адміністрування системи через власний інтерфейс, або за допомогою зовнішнього клієнтського програмного забезпечення.

Окремим питанням постає автономність використання даного вузла. Для забезпечення автономності необхідно передбачати можливості резервного живлення та резервованого блоку обробки інформації.

Відтак, пропонується використовувати в якості центральних блоків промислові комп'ютери. Їхні розрахункові можливості суттєво перевищують можливості ПЛК, що є досить актуальним з огляду на обсяг інформації, що потрібно постійно оброблювати. Крім того, дані комп'ютери можуть організовувати на своїй основі інтерфейс користувача та багато програмних рішень для керування системою, які будуть достатньо гнучкими через використання мов програмування високого рівня.

Отже, для проведення аналізу та розрахунків, у якості обчислювального пристрою головного вузла системи обирається промисловий комп'ютер. UNO-2484G V2 фірми Advantech. Це сучасний промисловий комп'ютер блочного виконання для розміщення в середині шаф керування. Він базується на процесорі Intel Core 11-го покоління, має 8 ГБайт швидкої пам'яті, 4 порти для підключення до мережі Ethernet зі швидкістю 1 Гбіт/с, 3 x USB 3.2 Gen2, 1x USB 2.0, 1x USB Type C USB 3.2, 1 x HDMI, 1 x DP, 4 x RS232/422/485. Даний комп'ютер може оснащуватись двома SSD накопичувачами типу M.2 з обсягом до 1 Тбайт кожен. Такі технічні можливості дозволяють забезпечити високу стабільність та продуктивність роботи, широкі можливості для інтеграції з іншими системами та АСУ.

Для організації місцевого доступу до керування та перегляду інформації від системи вібраційного діагностування, потребується встановлення зовнішнього дисплею, що підключатиметься до центральних вузлів та розміщуватиметься на корпусі їх шафи.

Для цього обираємо монітор IDS-3315G-50XGA1 фірми Advantech. Це 15 дюймовий монітор з роздільною здатністю 1024x768. Він має сенсорне керування різні порти підключення до комп'ютера. Даний монітор має ступінь захисту IP65 з лицевої сторони.

Для забезпечення живлення, обирається 2 блоки живлення типу LRS-150-24. Ці блоки живлення здатні надавати струм з напругою 24 В при навантаженні 150 Вт. Дані блоки живлення не мають пиле або вологозахисту, проте передбачається їх розміщення в середині шафи керування системою.

Для забезпечення безперебійного живлення комп'ютерів, до блоку центрального вузла важливо додати джерело безперервного живлення. Для потреб центрального вузла системи, обираємо APC Smart-UPS On-Line, 1500VA/1500W. Це джерело безперервного живлення, що здатне жити приєднаних споживачів напругою 230 В (можна налаштувати) при потужності загального споживання 1,5 КВт протягом однієї години після вимкнення живлення. Даний ДБЖ має 6 роз'ємів для підключення споживачів кабелем з вилкою C-13. Він має також можливість сповіщення про свій стан через мережу RS-232.

При організації живлення, обидва блоки живлення приєднуються після ДБЖ. Перший блок приєднується до основного комп'ютера, другий – до резервного;

Мережева комутація обох вузлів виконуватиметься наступним чином. Порти А та Б кожного з комп'ютерів приєднуються до промислової мережі. Порти С та Д – поєднуються між собою для організації синхронізації роботи між цими блоками.

Підключення дисплею відбудуватиметься одночасно до двох комп'ютерів, проте різними інтерфейсами підключення.

Слід відмітити, що на корпусі шафи центральних вузлів, окрім екрану оператора потрібно також розмістити елементи світлової індикації роботи як центральних блоків, так і системи в цілому. Для цього передбачаємо наступні індикатори:

- зелений – система працює;
- зелений – блок А працює;
- зелений – блок Б працює;
- червоний – наявні проблеми у системі;
- жовтий – основне живлення;
- червоне – резервне живлення.

Для забезпечення можливостей світлової індикації, до центрального блоку системи необхідно додати модуль виведення дискретних сигналів, що буде комутувати світлові індикатори. У якості такого модуля пропонується використовувати ADAM-4068 фірми Advantech. Це 8-ми каналний модуль релейного виведення дискретних сигналів з можливістю підключення до мереж типу RS-485. Використання даного модуля зумовлено наявністю вільних портів підключення мережі RS-485 у обох комп'ютерів вузла. Це дозволяє не навантажувати мережу Ethernet та реалізувати одночасний доступ обох машин до даного модуля.

4.4 Рівень сервера / клієнта

З точки зору вимог до технічної складової серверного та клієнтського обладнання, певні вимоги відсутні. На сервері відбуватиметься лише зберігання інформації та періодичне її надсилання та отримання. А зі сторони клієнтів – лише отримання результатів запитів програмного забезпечення з відповідною інформацією. Серйозних розрахункових можливостей, або специфічних рішень для цього не вимагається. Потребується лише наявність стабільного інтернет-з'єднання з промисловою мережею.

5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ

5.1 Створення програмного забезпечення для вузлів дільниць

Програмне забезпечення вузлів дільниць повинно базуватись на мовах програмування програмованих логічних контролерів. У нашому випадку – це мови програмування, що підтримуються контролерами SIEMENS S7-1500.

Завдання даного програмного забезпечення можна поділити на такі пункти за призначенням:

- підключення до внутрішньої мережі Ethernet та пошук усіх підпорядкованих та можливих не підпорядкованих вузлів агрегатів. Виконання підключення до всіх знайдених вузлів та пошук усіх контролерів шини IO-Link, пошук та підключення до модулів які керують індикації стану вузлів агрегатів;
- організація опитування всього підключеного обладнання з метою отримання показників про стан вібрації та подальше отримання вібраційних даних в режимі реального часу;
- періодична реєстрація вібраційних даних з кожного контрольованого агрегату на певному проміжку часу;
- поверхневий аналіз отриманих результатів з метою ідентифікації серйозних пошкоджень обладнання;
- встановлення зв'язку з центральним вузлом системи та організація періодичного надсилання результатів вимірювання вібрації;
- організація індикації наявності проблем обладнання певного агрегату на підставі власних висновків, або результатів, отриманих від центрального блоку системи.
- організація доступу до показників вібрації з від усіх підпорядкованих агрегатів у структурованому вигляді в режимі реального часу.
- організація можливостей доступу до переліку під'єднаного обладнання рівня агрегатів та його налаштування;

5.2 Створення програмного забезпечення клієнта для вузлів дільниць

Як вже згадувалось раніше, клієнтами в рамках системи вібраційного діагностування називаються користувачі, що підключаються до системи зі свого робочого місця. Зазвичай, у якості такого робочого місця виступає стаціонарний комп'ютер під управлінням операційної системи сімейства Windows. Цей фактор автоматично передбачає використання мов високого рівня для створення програмного забезпечення для цих користувачів.

У нашому випадку, є доцільним використання мови програмування C# для створення додатків, що будуть працювати під операційними системами користувача. Даний вибір дозволяє реалізувати надійну підтримку більшості можливих конфігурацій стаціонарних та мобільних комп'ютерів, є гнучким, ефективним та водночас простим для інженерів, що в подальшому будуть модернізувати цю систему.

Основним завданням програмного забезпечення користувача для вузлів дільниць є забезпечення доступу до переліку підключених агрегатів до даного вузла, доступ до вимірюваної інформації у режимі реального часу та отримання проміжної інформації про стан підконтрольних об'єктів. Саме завдання можна поділити на кілька груп:

- пошук та підключення вузлів дільниць до системи;
- відображення переліку наявних агрегатів та задіяного обладнання;
- організація доступу до інформації про існуючі агрегати, зокрема їхні показники вимірювання, попередній механічний стан та історію змін;
- організація можливостей реєстрації та налаштування нових агрегатів.

Дане програмне забезпечення повинно працювати з вузлами дільниць, а це означає, що потрібно передбачити можливість комунікації з програмованими логічними контролерами цих вузлів. Зазвичай це реалізується через протокол обміну даних типу OPC сервер. Також, потрібно забезпечити різні рівні допуску до даного рішення з метою унеможливлення несанкціонованого доступу до налаштувань вузлів дільниць.

5.3 Створення програмного забезпечення сервера системи

Програмне забезпечення сервера повинно надавати функціонал що-до прийому, збереження та видачі інформації про вимірювані вібраційні характеристики, а також результати аналізу цих сигналів з усієї системи вібраційного контролю.

Зважаючи на те, що більшість серверів працює все-ж таки під управлінням операційної системи Windows, то логічним варіантом є також застосування найбільш близької мови програмування до цієї операційно системи. Крім того, на це програмне забезпечення не буде покладатись жодних завдань, пов'язаних з аналізом отриманих даних.

Основним завданням серверного програмного забезпечення є взаємодія з центральними вузлами системи та основним клієнтським програмним забезпеченням з метою отримання та видачі інформації.

Відтак, до завдань серверного програмного забезпечення можна віднести:

- періодичне отримання інформації у вигляді файлів сигналу вібрації;
- періодичне отримання інформації у вигляді висновків про діагностики;
- збереження отриманої інформації на сервері або у базі даних;
- обробка запитів від клієнтів на отримання архівної інформації;
- забезпечення роботи системи авторизації для усього клієнтського ПЗ;
- організація відправки архівної інформації у відповідь клієнту.

ЗА своєю суттю, сервер – це майже звичайний комп'ютер. Тому організація роботи з інформацією майже не відрізняється. Єдиною відмінністю є необхідність роботи з великою кількістю запитів на збереження або видачу інформації.

Програмне забезпечення сервера повинно відповідати жорстким вимогам безпеки. Інформація на сервері повинна зберігатись в захищеному вигляді. Перед отриманням чи надсиланням інформації, клієнт повинен бути обов'язково авторизований.

5.4 Створення програмного забезпечення для головного вузла системи

У рамках даної системи, у якості головного вузла виступають промислові комп'ютери. Їх наявність обумовлена потребою в організації отримання, обробки та відправки великої кількості різноманітної інформації з різним призначенням. Відтак, до програмного забезпечення головного вузла висуваються більш жорсткі вимоги стосовно швидкодії, ефективності, безвідмовності та функціональності.

Зважаючи на те, що комп'ютери працюють під керівництвом операційної системи Windows – можна зробити висновок, що найбільш ефективним буде знову-ж таки використання найбільш споріднених мов програмування. Дивлячись на ті мови, на яких повинно створюватись програмне забезпечення для клієнтів та сервера, буде доцільним також застосовувати ті-ж підходи в рамках програмування для уніфікації цільової програмної архітектури.

На програмне забезпечення головного вузла системи покладатимуться наступні завдання:

- забезпечення контролю за доступністю усіх частин системи;
- організація опитування вузлів ділянок на наявність нових даних;
- забезпечення швидкого отримання інформації про вібрацію від усіх відповідальних вузлів системи;
- обробка отримуваної інформації про вібрацію усіх агрегатів;
- винесення експертних висновків про стан контрольованого обладнання в автоматичному режимі;
- відправка інформації про наявність проблем до відповідного агрегату, в межах якого ці проблеми були виявлені, з метою їх світлової сигналізації;
- періодичне зберігання результатів аналізу та знімків вібраційного сигналу на сервері системи;
- забезпечення місцевого доступу до усіх можливостей та налаштувань системи через панель оператора на корпусі головного вузла;

- детальний аналіз та опис результатів вимірювання вібрації відповідного агрегату з вказанням виявлених дефектів та їх серйозності;
- організація та підтримка можливості резервування даної системи;
- реалізація методів та засобів інформативного представлення обробленої інформації та отриманих висновків.

5.5 Створення програмного забезпечення для загального клієнта

За своєю організаційною структурою, програмне забезпечення головного клієнта не відрізняється від клієнта вузлів дільниць. Воно також підключається до вузла системи, також отримує інформацію від нього і також дозволяє отримати доступ до результатів роботи автоматизованої системи вібраційного діагностування механічного стану промислового обладнання.

По суті,, дане програмне забезпечення повинно лише дублювати можливості з доступу до інформації та її відображення, що реалізує головний вузол. Серед них такі завдання:

- отримання інформації про все задіяне обладнання та вузли системи;
- відображення інформації про вібраційний стан агрегатів;
- забезпечення можливості перегляду архівних даних.

Звичайно, дане програмне рішення повинно мати можливість налаштування роботи системи. Проте така можливість повинна надаватись лише адміністративному персоналу, відповідальному за цю систему.

Відмінність від ПЗ клієнту вузлів дільниць полягає у тому, що отримання інформації виконується через головний вузол системи, а сама інформація – включає у себе експертне рішення після повного аналізу вібраційної інформації

6. ПЕРЕВІРКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

Перевірка працездатності готової системи є невід'ємним етапом на шляху розробки та впровадження нових промислових рішень. Далі буде виконано огляд деяких моментів системи та проведено дослідження адекватності цієї системи на деяких прикладах. Уся взаємодія з системою буде виконуватись через клієнтське програмне забезпечення вузлів дільниць та основного клієнту системи. Для цього, до системи буде надано реальні дані вібраційних вимірювань.

6.1 Перевірка програмного забезпечення вузлів дільниць

При вході до клієнту вузлів дільниць, працівнику підприємства пропонується обрати один з вузлів або агрегатів, що вже зареєстрований у системі. На рисунку 6.1 ми бачимо вікно програми де перераховані:

- вузли дільниць, що представлені як «Цех 1», «Цех 2» та «Цех 3»;
- вузли агрегатів, що являють собою відповідне промислове обладнання, за яким закріплено певну кількість точок Вимірювання
- блок «Підприємство», що узагальнює саме підприємство та дозволяє уникнути протиріч трактування, якщо одна системи задіяна в межах кількох підприємств.

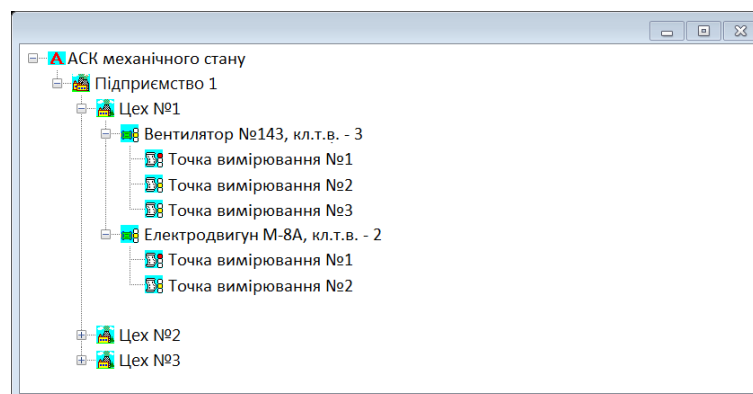


Рисунок 6.1 – Вікно огляду вузлів клієнта дільниць

ЗА необхідності, користувач має можливість змінити налаштування певного агрегату, як показано на рисунку 6.2.

Механізм	Марка	№	Тип	Норма
Електродвигун		1	Кочення	7,1
		2	Кочення	7,1
Вентилятор		3	Кочення	7,1
		4	Кочення	7,1

Рисунок 6.2 – Вікно редагування налаштувань агрегату клієнту дільниць

У даному розділі вводиться технічна інформація про контрольований агрегат відповідно до схеми, що була обрана при його додаванні. Слід відмітити, що до клієнта дільниць вже додана необхідна база розповсюдженого промислового обладнання, що включає до свого складу різні варіації та різновиди обладнання, їх типові конструкційні схеми та точки вимірювання. Це дозволяє більш швидко виконувати додавання нового агрегату та швидко заповнювати лише його основну інформацію.

На даному-ж прикладі ми бачимо вікно редагування параметрів вентилятора. Йому задається його нормальна обертова швидкість за двома

компонентами установки, обираються типи підшипників, задається початковий стан фундаменту агрегату.

Коли агрегат доданий та налаштований, система починає автоматично отримувати виміри вібрації від нього. Перейшовши до розділу діагностичної інформації агрегату, ми отримуємо можливість в режимі реального часу спостерігати показниками його вібрації, проміжними результатами аналізу та мнемонічним відображенням груп вимірювальних приладів. Дану картину ми можемо спостерігати на рисунках 6.3 та 6.4, де відображається діагностична інформація від вентилятора №143 та електродвигуна М-8А.

Електродвигун М-8А - Діагностична інформація							
Точка		1		2			
Стан		В	Г	О	В	Г	О
Незадовільний		○	○	○	○	○	○
Задовільний		○	○	○	○	○	○
Хороший		○	○	○	○	○	○
Причини вібрації		Уточнення		Вклад дефекта у загальну вібрацію			
				В	Г	О	
Зміщення по осі		Осьові вібрації підшипників		0,3	0,6	3,5	
Фоновий рівень вібрації				0,6	1,0	1,4	
Невизначеність стану				1,6	2,2	1,2	
Виміряє значення вібрації, мм/сек				2,5	3,8	6,0	

Рисунок 6.3 – Вікно діагностичної інформації про стан електродвигуна М-8А

Вентилятор №143 - Діагностична інформація							
Точка		1		2		3	
Стан		В	Г	О	В	Г	О
Незадовільний		○	○	○	○	○	○
Задовільний		○	○	○	○	○	○
Хороший		○	○	○	○	○	○
Причини вібрації		Уточнення		Вклад дефекта у загальну вібрацію			
				В	Г	О	
Дисбаланс механізма							
Фоновий рівень вібрації				1,6	1,7	3,0	
Невизначеність стану				4,9	4,8	10,0	
Виміряє значення вібрації, мм/сек				6,5	6,5	13,0	

Рисунок 6.4 – Діагностична інформації про стан вентилятора №143

На даних зображеннях можна побачити, що система отримує дані про вібрації у вигляді вібраційної швидкості. Використовуючи спеціальні фільтри та алгоритми, вузол дільниці розраховує вірогідні дефекти обладнання та внесок від вібрацій цих дефектів у загальний вібраційний рівень. На даному етапі проводиться лише попередній поверхневий аналіз, який дозволяє побачити наявність дефекту, але ще не конкретизує його.

6.2 Перевірка програмного забезпечення головного клієнта

Принцип роботи та взаємодії з вузлами агрегатів через програмне забезпечення основного клієнта та клієнтом вузлів дільниць є ідентичним, тому далі сконцентровано увагу на огляді деяких можливостей даного рішення, що доступні лише через головний вузол системи.

Першою з таких можливостей є перегляд графіків сигналів та різні автоматизовані розрахунки. Так, на вибір доступно відображення графіків часової реалізації вібраційної швидкості – рисунок 6.5, вібраційного переміщення – рисунок 6.6 та вібраційного прискорення – рисунок 6.7.

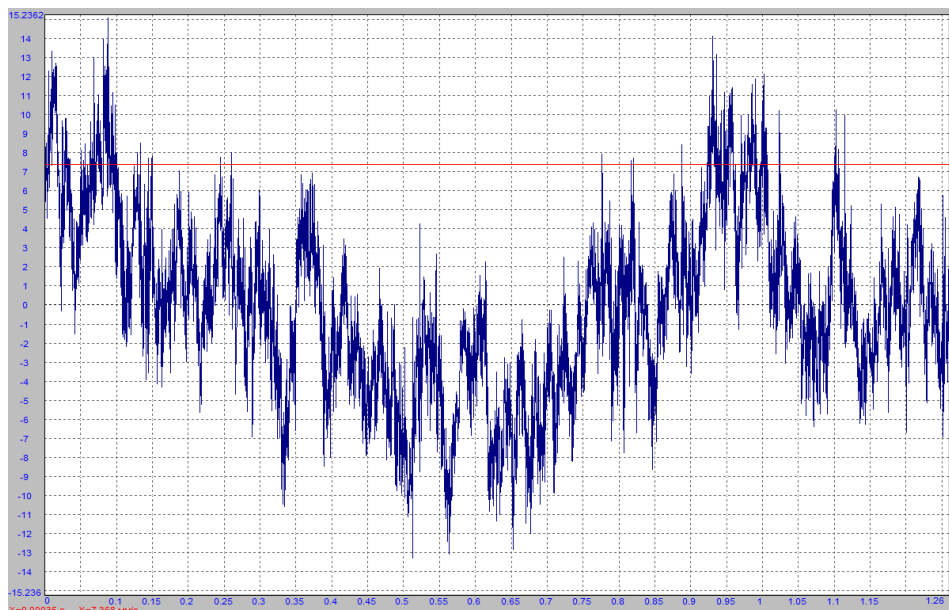


Рисунок 6.5 – Реалізація графіку вібраційної швидкості в основному клієнті

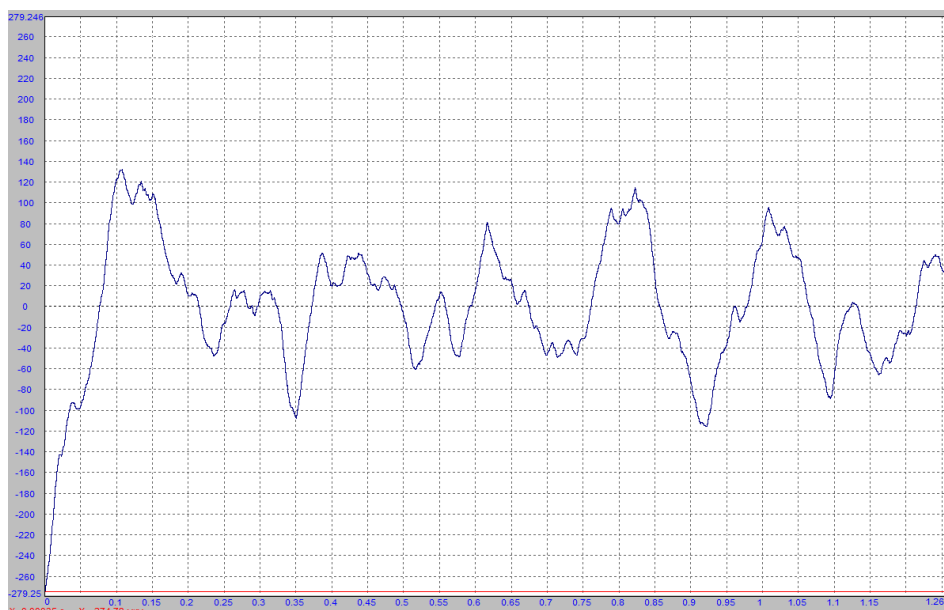


Рисунок 6.6 – Реалізація графіку вібраційного переміщення в основному клієнті

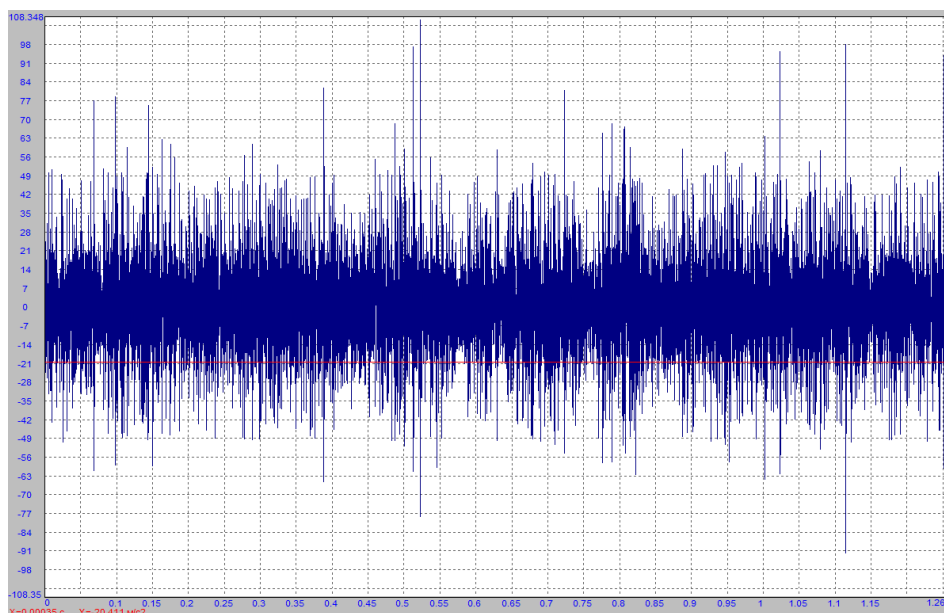


Рисунок 6.6 – Реалізація графіку вібраційного прискорення в основному клієнті

Крім звичайного відображення вібраційного сигналу та його похідних – присутня можливість розрахунку та побудови додаткових представлень:

Подальші приклади приведені для сигналу вібраційного прискорення для більшої наочності. На рисунку 6.7 зображений графік спектрального представлення частот вібраційного сигналу. На рисунку 6.8 приведено графік огибаючої складової сигналу та її спектр – рисунок 6.9. Причому для розрахунку спектру огибаючої складової – потрібен фільтр сигналу.

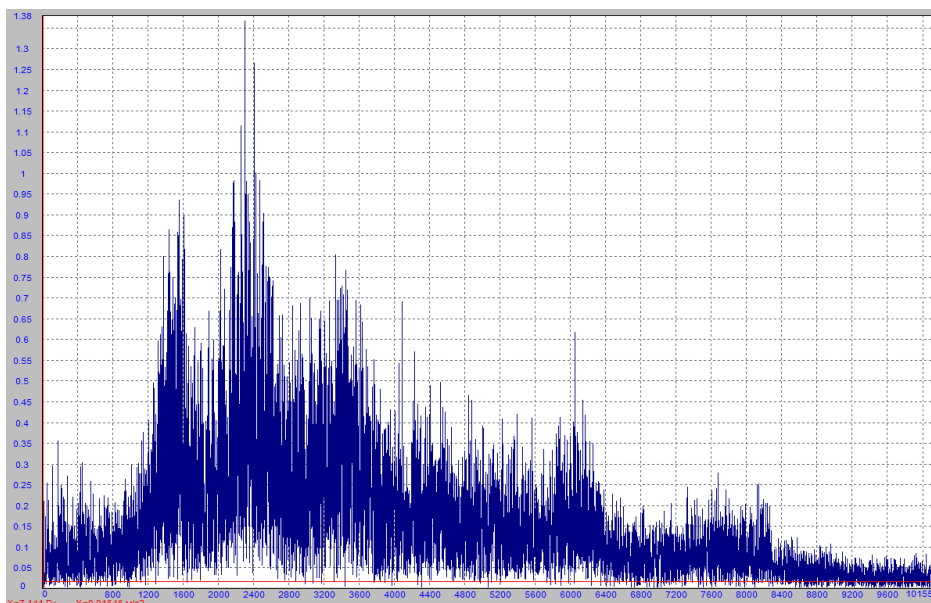


Рисунок 6.7 – Спектрограма вібраційного прискорення в основному клієнті

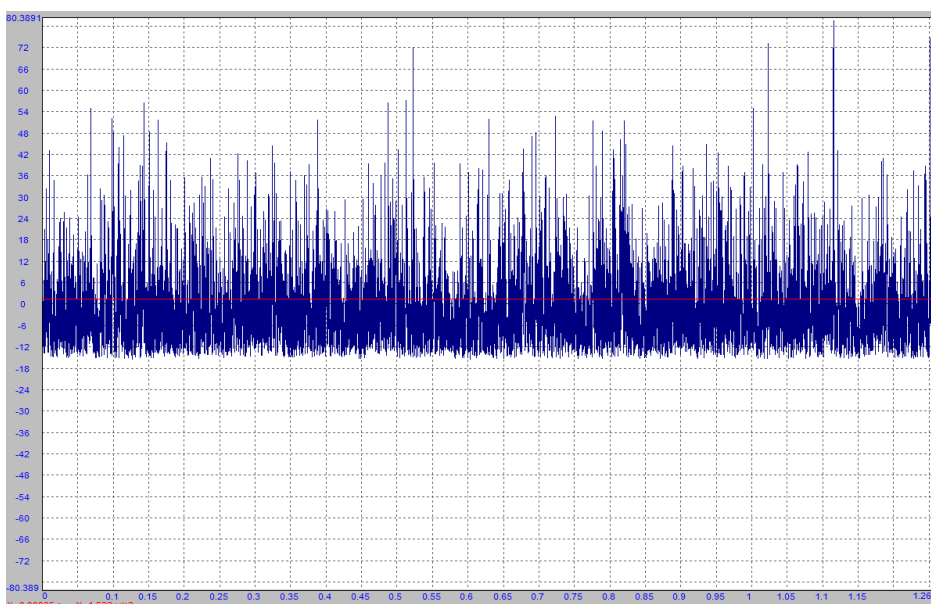


Рисунок 6.8 – Огибаюча вібраційного прискорення в основному клієнті

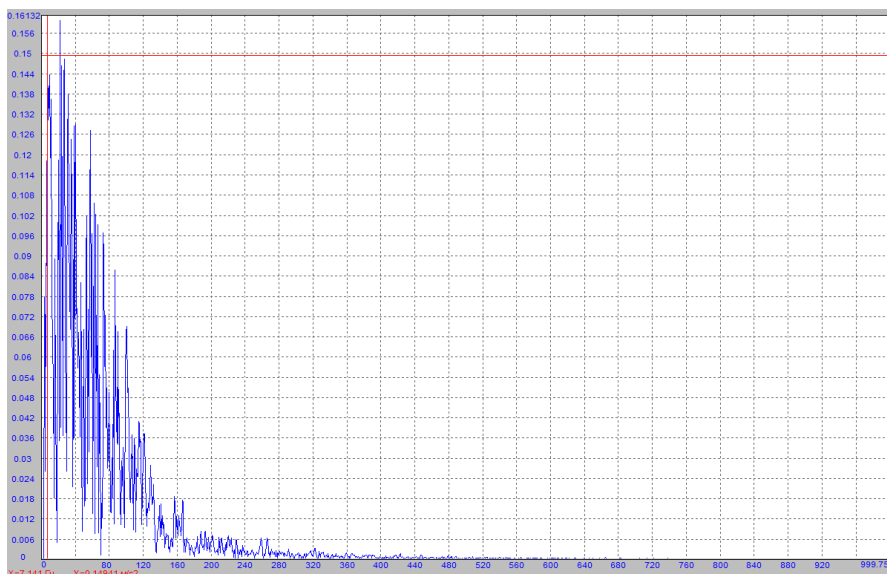


Рисунок 6.9 – Спектр огибаючої вібраційного прискорення в основному клієнті

Іншою можливістю даного програмного додатку є реалізація графічного відображення гармоніки сигнал, дивись рисунки 6.10 та 6.11.

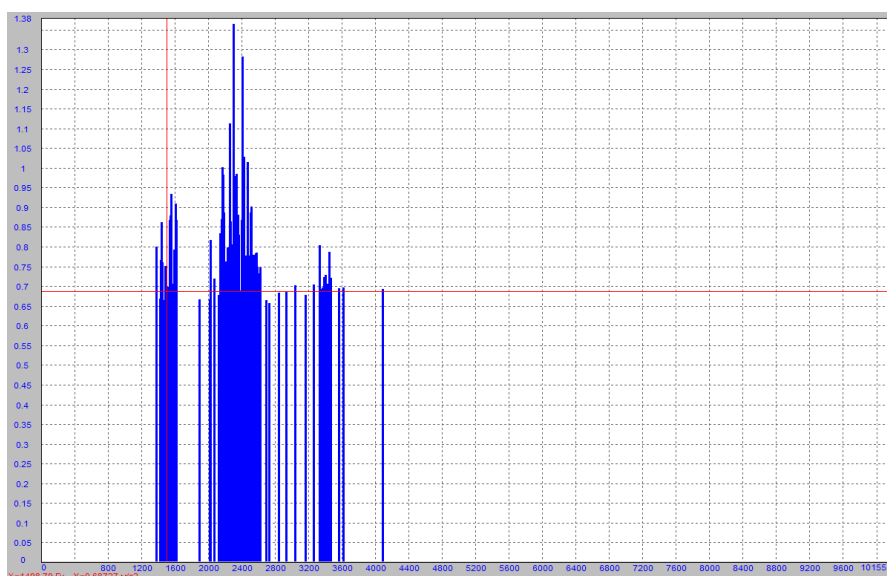


Рисунок 6.10 – Відображення гармоніки вібраційного прискорення в основному клієнті

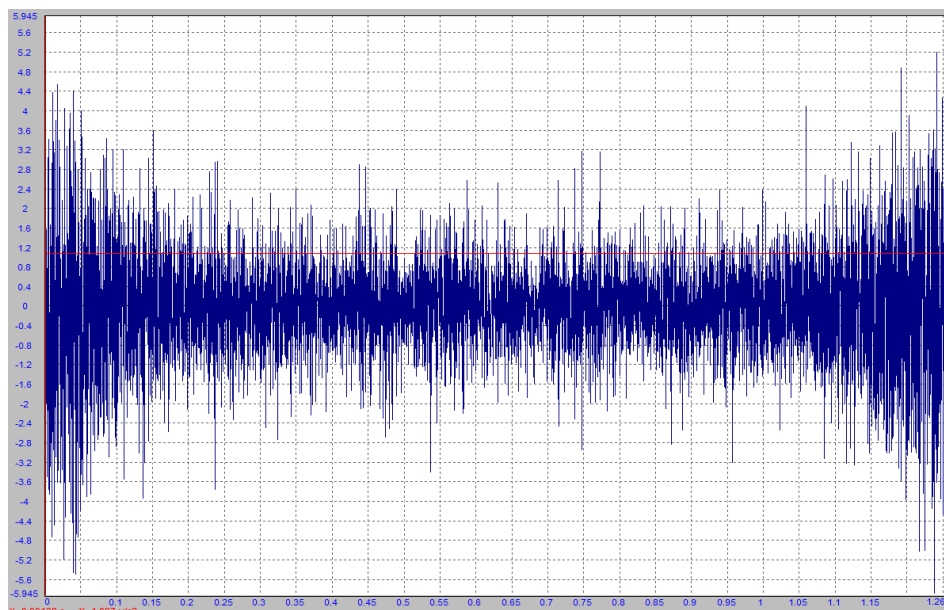


Рисунок 6.11 – Відображення кепстру вібраційного прискорення в основному клієнті

Останньою, але не менш важливою деталлю даного додатку до програмного комплексу – можливість розраховувати потужність сигналу в рамках певних смуг. Відтак, на малюнку 6.12 зображено інтерфейс налаштування, а на рисунку 6.13 – результат застосування.

Потужність в частотних смугах

Межі частоти смуг

№	Фнижн (Гц)	Фверхн (Гц)	Амплітуда
1	22.0	44.0	0.28965
2	44.0	88.0	0.60234
3	88.0	176.0	0.82979
4	176.0	352.0	1.51464
5	352.0	704.0	2.05514
6	704.0	1408.0	5.77402
7	1408.0	2816.0	16.1910
8	2816.0	5632.0	14.3398
9	5632.0	11264.0	
10	11264.0	22528.0	
11	22528.0	45056.0	
12	45056.0	90112.0	
13	90112.0	180224.0	
14	180224.0	360448.0	
15	360448.0	720896.0	

Стандартні смуги
 Смуги за вибором

Ширина смуги: 1 октава

Рисунок 6.12 – Вікно налаштування перед розрахунком потужності у смузі

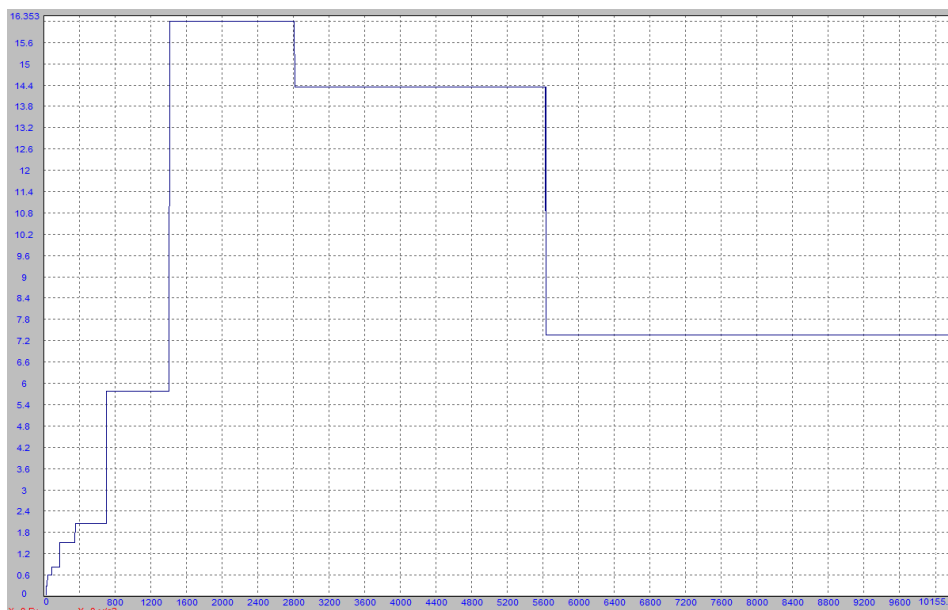


Рисунок 6.13 – Графік розподілу потужності по сигналу вібраційного прискорення

В рамках даної роботи я-б хотів також перевірити якість з можливостей діагностування, якими володіє дана система. Так, перевіримо вібраційний сигнал вентилятора на предмет дефектів підшипника.

Для нашого виміру на першому підшипнику встановлюємо його частоту обертання, рисунок 6.14.

Рисунок 6.14 – Вікно встановлення частоти обертання підшипника

Далі, з бази даних, доданої до програмного рішення, обираємо тип підшипників, встановлений у вентиляторі, рисунок 6.15.

Марка підшипника	Геометричні розміри підшипників (мм)					Відносні частоти елементів (x F оберт., Гц)				
	D внут.	D зовн.	N тіл кач.	D тіл кач.	Кут обк.	BPFO (зов.)	BPFI (внут.)	BSF (т.к.)	FTF (сепарат.)	
30202	0	0	0	0.0	0	5.826	8.160	2.772	0.416	
30203A	0	0	0	0.0	0	6.156	8.820	2.634	0.410	
30204A	0	0	0	0.0	0	6.156	8.820	2.634	0.410	
30205A	0	0	0	0.0	0	6.696	9.300	2.904	0.419	
30206A	0	0	0	0.0	0	7.116	9.900	2.904	0.419	
30207A	0	0	0	0.0	0	7.116	9.900	2.904	0.419	
30208A	0	0	0	0.0	0	7.116	9.900	2.904	0.419	
30210A	0	0	0	0.0	0	8.568	11.400	3.306	0.428	
30211A	0	0	0	0.0	0	8.082	10.920	3.174	0.425	
30212A	0	0	0	0.0	0	8.082	10.920	3.174	0.425	
30213A	0	0	0	0.0	0	8.082	10.920	3.174	0.425	
322125T	60	110	16	12.00	0	6.871	9.129	3.471	0.429	0.700

Рисунок 6.15 – Вікно бази даних вибору підшипників кочення

Слід відмітити, що для кожного з варіантів підшипників, представлених у цій базі даних, залежно від їх частоти обертання та встановленої норми на вібрацію – існує можливість автоматичного розрахунку порогових значень вібрації для частотного проміжку кожного з дефектів, рисунок 6.16 та 6.17.

Пороги аварійного стану (% модуляції)	
Проблеми монтажу	
Перекош зовнішньої обійми при посадці	11,0
Неоднорідний радіальний натяг підшипника а	9,2
Проскозвання обійми в посадковому місці	6,5
Ослаблення кріплення корпусу підшипника	9,2
Задівання в підшипнику та ущільнювачах	9,2
Проблеми зносу	
Збільшення зазорів у підшипниках	11,0
Знос поверхонь зовнішньої обійми	11,0
Знос поверхонь тіл качення та сепаратора	10,4
Знос поверхонь внутрішньої обійми	9,2
Дефекти групи поверхонь тертя	11,0
Дефекти підшипника	
Раковини (тріщини) на зовнішній обіймі	11,0
Раковини (тріщини) на внутрішній обіймі	10,4
Раковини (тріщини) на тілах кочення	10,4
Зовнішні проблеми	
Обкатування зовнішньої обійми	11,0

Рисунок 6.16 – Вікно редагування граничних значень вібрації підшипників

Розрахунок порогових значень аварійного стану

Зовнішній діаметр підшипника: 110 мм

<100 300 600 800>

Робоча частота вращения: 1046 об/хв

<100 2000 4000 6000>

Віддаленість місця встановлення п.п.: 0.25 Dзov

0 0.25 0.5+

Норма на СКЗ віброшвидкості, мм/с 7.1

OK Відміна

Рисунок 6.17 – Вікно встановлення розрахункових граничних значень вібрації підшипників на базі інформації про підшипники та датчики.

Далі, необхідно обрати потрібний фільтр сигналу. Слід відмітити, що у програмне забезпечення основного клієнта вже вбудовано функцію автоматичного пошуку потрібного фільтра та діапазону частот дослідження вібраційного сигналу. Тому можна просто залишити автоматичний вибір фільтра, рисунок 6.18.

Параметри побудови огибаючої

Лінійний фільтр

Ширина смги 1/3 октави

Початкова частота смуги 2245 Гц

Кінцева частота смуги 2828 Гц

Автоматичний пошук фільтра

OK

Рисунок 6.18 – Вікно встановлення фільтра для побудови огибаючої

Як результат, програма самостійно проаналізує знімок вібраційного сигналу, проведе дослідження на предмет наявності частот певних дефектів підшипників у діапазоні частот та порівняє значення вібрації з граничними,

встановленими раніше. І на основі цих результатів – зробить висновок стосовно стану підшипника у механізмі, рисунок 6.19 та 6.20. Програма здатна самостійно розпізнати 15 різних дефектів підшипників кочення, що представлені у вигляді груп за місцем виникнення.

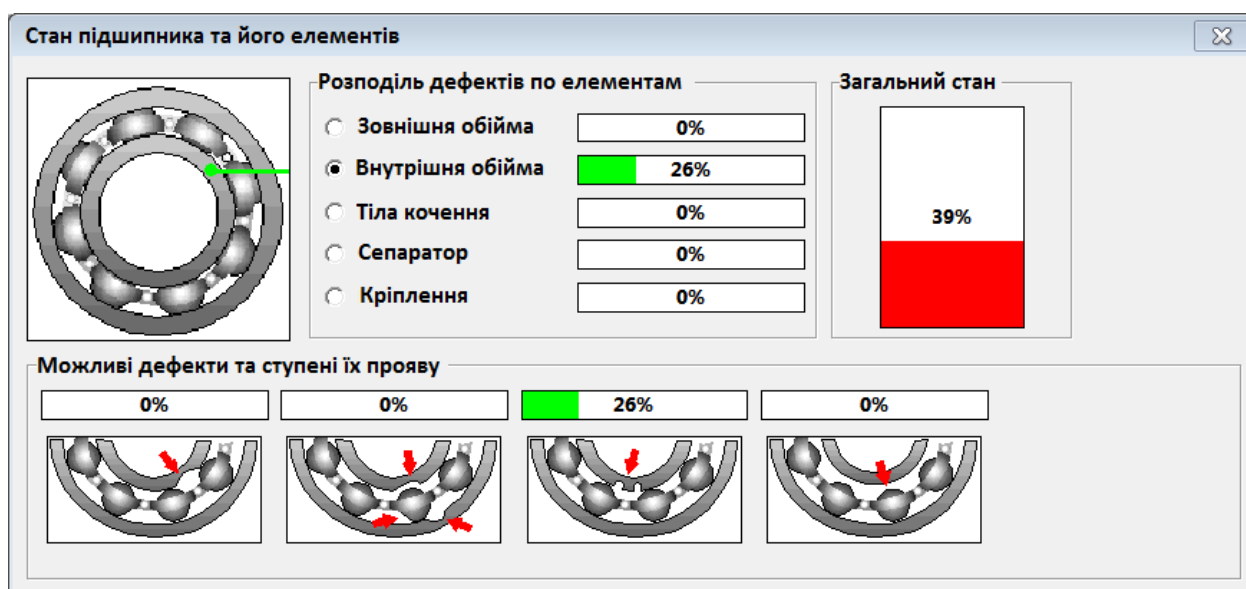


Рисунок 6.19 – Вікно інформації про стан підшипника та його елементів

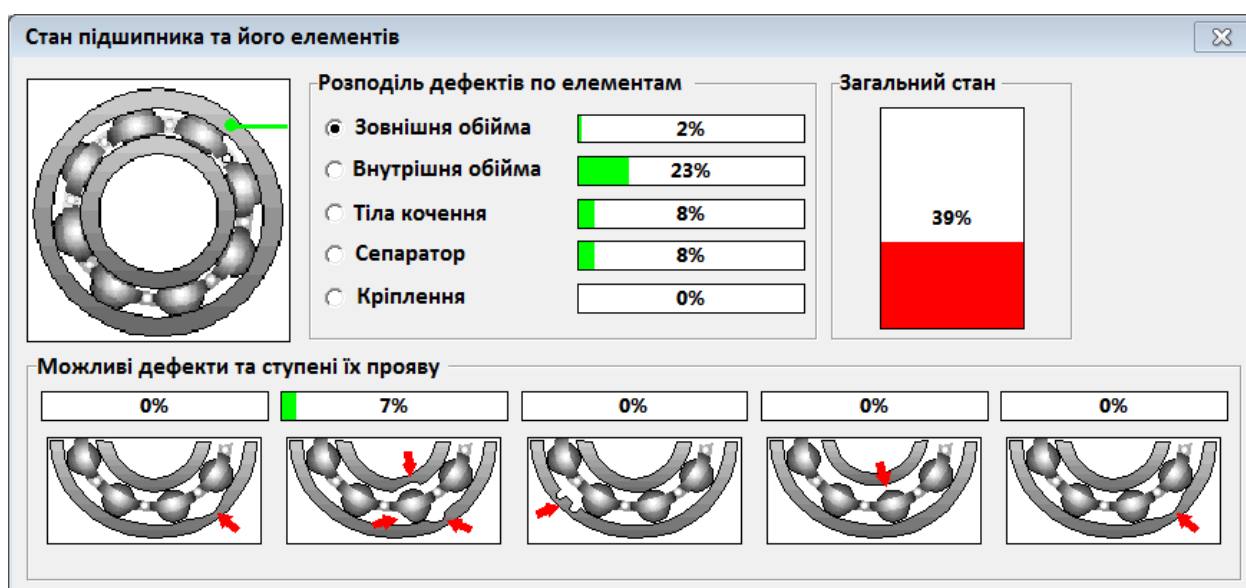


Рисунок 6.20 – Вікно інформації про стан підшипника та його елементів

І дійсно, відомо, що у першого підшипника вентилятора присутні дефекти у вигляді раковин на внутрішній обоймі. Це було видно ще по вигляду та розмірності вібраційних сигналів на рисунках 6.1-6.3.

Для прикладу, ось результати діагностування та вигляд сигналів вібрації з другого підшипника, що є повністю справним. Дивись рисунки 6.21-6.24.

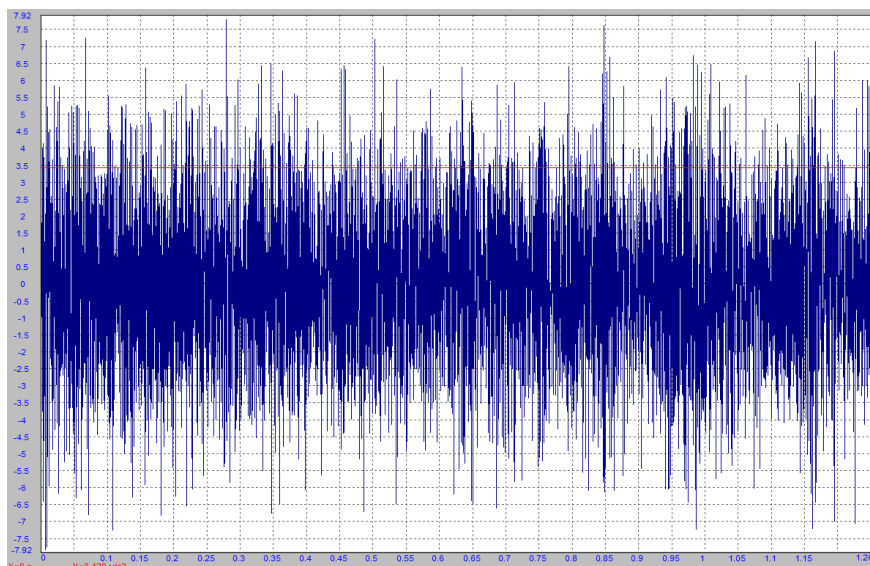


Рисунок 6.21 – Сигнал вібраційного прискорення зі справного підшипника

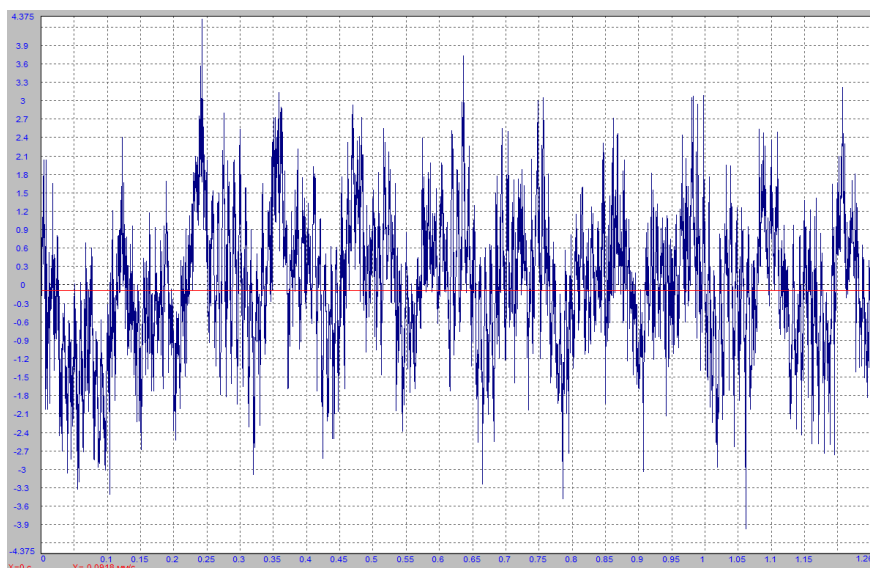


Рисунок 6.22 – Сигнал вібраційної швидкості зі справного підшипника

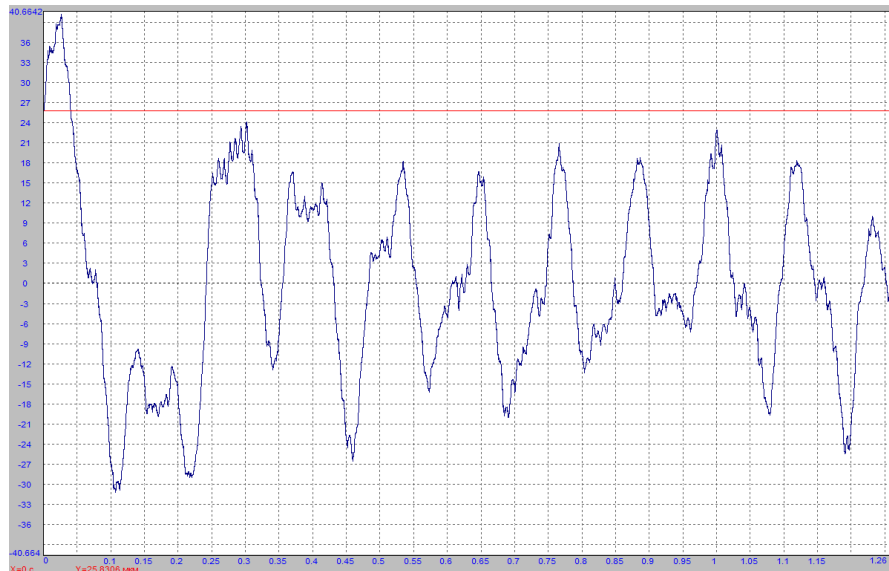


Рисунок 6.23 – Сигнал вібраційного переміщення зі справного підшипника

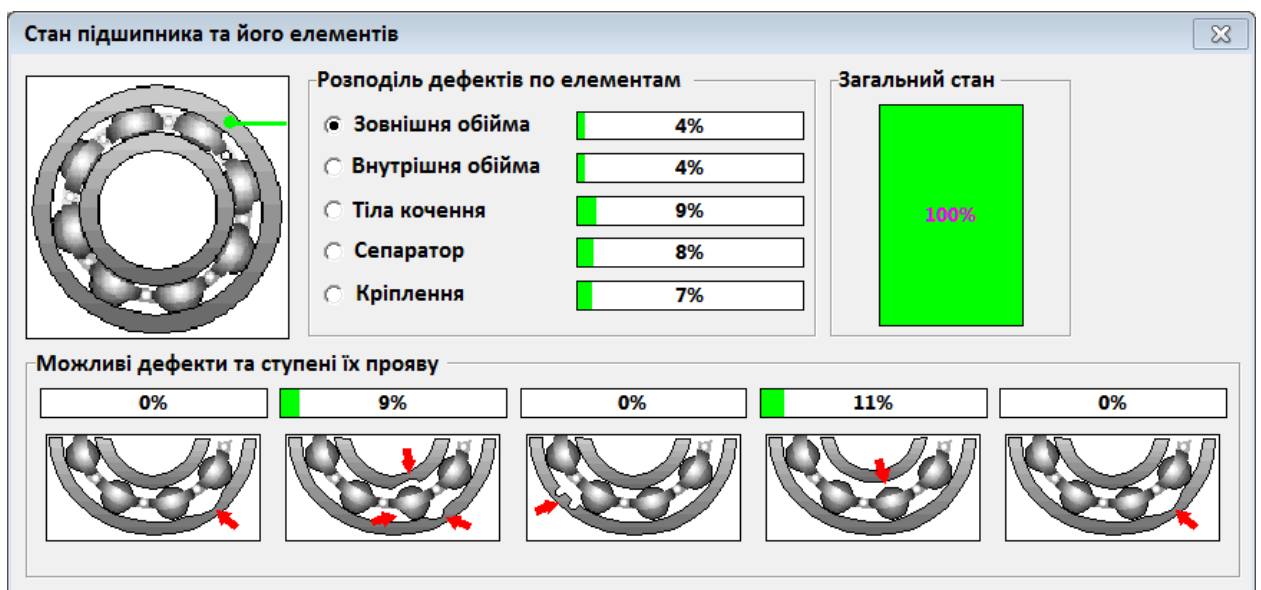


Рисунок 6.24 – Результати діагностування на основі вібраційного сигналу справного підшипника вентилятора.

Отже я ми побачили, створена система автоматизованого діагностування механічних дефектів обладнання є працездатною та дає достовірні результати.

ВИСНОВКИ

У рамках даної роботи ставилося за мету визначення можливостей створення універсальної стаціонарної системи автоматизованого вібраційного діагностування дефектів та порушень в роботі електродвигунів та промислового електромеханічного обладнання. У процесі роботи проводився аналіз будови основної частини промислового обладнання, зосередженої на асинхронних електричних двигунах змінного струму, і визначення основних груп дефектів, що є загальними для значної частини обладнання.

Окрім того, виконано докладний аналіз методів діагностування порушень роботи, на основі якого було прийнято обґрунтоване рішення про переваги вібраційного діагностування в порівнянні з іншими методами неруйнівного контролю. Досліджено сучасний стан та можливості вібраційного діагностування, а також визначено основні вимоги до створення нової універсальної автоматизованої стаціонарної системи вібраційного контролю.

Робота також включає в себе обґрунтування необхідності проектування нової системи, визначення вимог до її можливостей і структури, а також розміщення технічних рішень на підприємстві. Надано детальні вимоги до програмного забезпечення, а також розглянуті аспекти організації захисту інформації, що створюється системою автоматизованого контролю.

Окрема частина роботи присвячена дослідженню математичних засад вібраційного діагностування, що слугує основою для створення проекту нової автоматизованої системи контролю механічного стану. Проект передбачає значну автономність зі збереженням цілісності інформації і включає структуру системи, а також комплекс програмно-технічних рішень для досягнення зазначених завдань.

На підставі вимог до програмного забезпечення для різних рівнів автоматизованої системи контролю було створено працюючий прототип, який

піддався подальшій перевірці на працездатність за допомогою реальних даних. В результаті виконання даної роботи вдалося детально дослідити та обґрунтувати перспективи створення універсальної стаціонарної системи автоматизованого вібраційного діагностування, що має потенціал вдосконалити контроль за роботою електродвигунів та промислового обладнання.

Як наслідок – отримано готове рішення, що може за невеликих корегувань впроваджуватись у виробництво та забезпечувати високу ефективність та якість вібраційного діагностування.

ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Белікова Л. Я., Шевченко В. П. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів : навч. посіб. Одеса : Наука і техніка, 2012. 480 с.
2. Мазепа С. С., Марущак Я. Ю., Куцик А. С. Електрообладнання промислових підприємств : навч. посіб. 2-ге вид. Львів : Магнолія, 2010. 260 с.
3. ООО ифм электроник. AL1122 - IO-Link master with EtherNet/IP interface - ifm. www.ifm.com. URL: <https://www.ifm.com/ua/uk/product/AL1122> (date of access: 10.12.2023).
4. ООО ифм электроник. VVB001 - Vibration sensor - ifm. www.ifm.com. URL: <https://www.ifm.com/ua/uk/product/VVB001> (date of access: 10.12.2023).
5. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики : навч. посіб. / Ю. О. Ушенко та ін. Чернівці : Чернів. нац. ун-т ім. Ю. Федьков., 2021. 308 с.
6. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Неруйнівні методи контролю : навч. посіб. Ужгород : УжНУ, 2016. 192 с.
7. Шевченко В. В., Павленко Т. П., Масленніков А. М. Сервісне обслуговування електромеханічних пристроїв / ред. В. І. Мілих. Харків : НТУ “ХПІ”, 2013. 61 с.
8. Adams M. L. Rotating Machinery Vibration. Taylor & Francis Group, 2000. 376 p.
9. Advantech Co., Ltd. ADAM 4000 Series User Manual. Taiwan : Advantech Co., Ltd., 2022. 296 p.
10. Advantech Co., Ltd. ADAM-6200 Series Intelligent Ethernet I/O Module User Manual. Taiwan : Advantech Co., Ltd., 2023. 190 p.
11. Advantech Co., Ltd. Advantech UNO-2484G User Manual. Taiwan : Advantech Co., Ltd, 2017. 52 p.

12. Advantech Co., Ltd. IDS-3315 Series User Manual. Taiwan : Advantech Co., Ltd., 2018. 32 p.
13. Ginsberg. Mechanical and Structural Vibrations. John Wiley & Sons Inc, 2001.
14. MEAN WELL Enterprises Co., Ltd. Standard Switching Power Supply Manufacturer. China : Soy Ink, 2021. 164 p.
15. Moxa Inc. AWK-1137C Series - WLAN AP/Bridge/Client | MOXA. www.moxa.com. URL: <https://www.moxa.com/en/products/industrial-network-infrastructure/wireless-ap-bridge-client/wlan-ap-bridge-client/awk-1137c-series> (date of access: 10.12.2023).
16. OMRON Corporation. Industrial Automation Catalog. Tokyo : Omron, 2022. 240 p.
17. Siemens AG. Produkte für Totally Integrated Automation. München : Siemens AG, 2019. 1500 p.
18. Silva C. W. d. Vibration Monitoring, Testing, and Instrumentation. Taylor & Francis Group, 2007. 696 p.
19. Steinberg D. S. Vibration Analysis for Electronic Equipment. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2008. 440 p.
20. Tavner P., Ran L., Crabtree C. Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines. Institution of Engineering & Technology, 2020. 370 p.