

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Теплоенергетичний факультет
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
В.о.завідувача кафедри
_____/ **Володимир ВОЛОЩУК**/
“ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою
**“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології
кібер-енергетичних систем”**
зі спеціальності
**151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані
технології”**

на тему: Застосування предиктивного обслуговування обладнання АСУ ТП

Виконав: студент ІІ курсу, групи ТО-91мн
Рудь Кристина Костянтинівна
(прізвище ім’я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник ст. викладач, Поліщук Ігор Анатолійович
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

Факультет Теплоенергетичний
Кафедра Автоматизації теплоенергетичних процесів
Рівень вищої освіти – другий(магістерський)

Спеціальність 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітньо-професійна програма (“Автоматизація та комп’ютерно -інтегровані технології кібер-енергетичних систем”)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____/Володимир ВОЛОЩУК/
(підпис) (імя, ПРІЗВИЩЕ)
“ “ _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Рудь Крестині Костянтинівни

(прізвище, ім’я, по-батькові)

1. Тема дисертації Застосування предиктивного обслуговування
обладнання АСУ ТП

науковий керівник дисертації Поліщук Ігор Анатолійович, ст. викладач
(прізвище, ім’я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «6» листопада 2020 р. № 3247-с

2. Термін подання студентом дисертації «10» грудня 2020 р.

3. Об’єкт дослідження методи виявлення несправностей газоперекачувального агрегату ГТК-10 за допомогою датчиків вібрації підшипників

4. Вихідні дані система автоматизованого збору та обробки вібросигналів газоперекачувального агрегату ГТК-10

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

1) Огляд ГТК-10, як об’єкту діагностики

2) Розробка системи управління об’єкту

3) Забезпечення можливості передачі параметрів по універсальному протоколу обміну даними.
4) Розробка стартап-проекту.
6. Орієнтований перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
1) Схема функціональна автоматизації;
2) Вікно SCADA-системи.
7. Орієнтований перелік публікацій
1) «Підвищення ефективності обслуговування промислового обладнання» Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, м. Київ, 2020 р. У 2 т. – К. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.-Т.2-29с.
2) «Моніторинг вібрації у передбачувальному обслуговуванні» Науковий журнал «Молодий вчений» No 10 (86) жовтень 2020 р. с.187
3) "IMPROVING THE EFFICIENCY OF INDUSTRIAL EQUIPMENT SERVICES" Матеріали X Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції "Сучасний рух науки", м. Дніпро, 2020 р. У 2 т. – К. 354с.

8. Дата видачі завдання " 01 " вересня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	<i>Видача завдання</i>	01.09.2019	
2	<i>Аналітичний огляд проблеми</i>	15.11.2019	
3	<i>Огляд математичного розрахунку параметрів вібродіагностики</i>	25.01.2019	
4	<i>Розробка схеми об'єкта управління</i>	14.03.2020	
5	<i>Основні програмні рішення з системи діагностики відмов</i>	18.06.2020	
6	<i>Реалізація обміну даними</i>	01.11.2020	
7	<i>Розробка SCADA-системи</i>	15.11.2020	
8	<i>Стартап-проект</i>	29.11.2020	
9	<i>Підпис керівника магістерської дисертації</i>		
10	<i>Попередній захист магістерської дисертації</i>	10.12.2020	
11	<i>Захист</i>	22.12.2020	

Студент

(підпис)

(імя, ПРІЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(імя, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Несподівані несправності обертового обладнання можуть бути дорогими та потенційно катастрофічними, що призводить до непередбачуваного простою виробництва. Тому є доцільне використання предиктивного обслуговування. Підшипники кочення використовуються в обертовому обладнанні, і якщо вони несподівано вийдуть з ладу, це може призвести до несправності з суміжними високими витратами на ремонт та заміну.

Мета і завдання роботи. Створення інтегрованого програмного забезпечення для аналізу даних з вібродатчиків підшипників газоперекачувального агрегату ГТК-10 з можливістю передачі обрахованих параметрів вібрації у хмарні системи з використанням уніфікованих протоколів передачі даних.

Об'єкт досліджень. Методи виявлення несправностей газоперекачувального агрегату ГТК-10 за допомогою датчиків вібрації підшипників.

Предмет досліджень. Система автоматизованого збору та обробки вібросигналів газоперекачувального агрегату ГТК-10.

Наукова новизна отриманих результатів. Дані від SCADA системи передаються у хмару.

Практичне значення отриманих результатів

Алгоритми виявлення несправностей за допомогою датчиків вібрації підшипників можуть бути використані для будь-яких обертових агрегатів.

Апробації результатів дисертації. Результати роботи дисертації було оприлюднено у: Рудь К. К., Поліщук І. А. «Моніторинг вібрації у передбачувальному обслуговуванні»// Матеріали XXII (86) випуску журналу Молодий вчений. листопад 2020.

ABSTRACT

Actuality of theme. Unexpected failures of rotating equipment can be costly and potentially catastrophic, leading to unpredictable downtime. Therefore, it is advisable to use predictive maintenance. Rolling bearings are used in rotating equipment, and if they fail unexpectedly, it can lead to a malfunction with associated high repair and replacement costs.

The purpose and objectives of the work. Creation of integrated software for data analysis from vibration sensors of bearings of the gas pumping unit GTK-10 with the ability to transmit the calculated vibration parameters to cloud systems using unified data transmission protocols.

Object of research. Methods of detecting faults of the gas pumping unit GTK-10 using vibration sensors of bearings.

Subject of research. System of automated collection and processing of vibration signals of gas pumping unit GTK-10.

Scientific novelty of the obtained results. Data from the SCADA system is transmitted to the cloud.

The practical significance of the results

Fault detection vibration algorithms can be used for any rotating units.

Approbation of dissertation results. The results of the dissertation were published in: Rud KK, Polishchuk IA "Vibration monitoring in predictive maintenance" // Materials of XXII (86) issue of the journal Young Scientist. November 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ	8
1.1 Сучасний стан галузі	8
1.2 Опис технологічної схеми об'єкту управління.....	10
1.3 Загальна постановка задачі	12
2. ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ	14
2.1 Опис технологічної схеми об'єкту управління.....	14
2.2 Призначення та функції створюваної системи	15
2.3 Вимоги до реалізацій функцій системи	19
2.4 Висновки	19
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТУ	20
3.1 Функціональна структура системи управління об'єктом.....	20
3.2 Розрахункова частина	20
3.3 Вимоги до реалізації функцій ПТКЗА	33
3.4 Розробка технічного забезпечення системи управління	34
3.5 Програмна реалізація системи управління.....	43
4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	50
4.1 Опис ідеї проекту	50
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	58
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	79
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	83
ВИСНОВКИ.....	96
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГПА –газоперекачувальний агрегат;

ТД– турбодетандер;

ВК – компресор;

КЗ – камера згорання;

ТВТ– турбіна високого тиску;

ТНТ– турбіна низького тиску;

Н– нагнітач;

ВСТУП

Україна має розгалужену мережу газопроводів, довжина яких складає біля 35 тис. кілометрів, а кількість газоперекачувальних агрегатів (ГПА) досягає 780 одиниць, з яких 96 - газомотокомпресори. На разі ГПА в Україні відпрацювали свій заводський ресурс і через їх фізичне і моральне старіння не відповідають сучасним вимогам екології та енергоощадливості.

Проблеми надійності обладнання газотранспортних систем до даного часу приділяли недостатньо уваги. Це призводило до великих економічних витрат, та до катастрофічних наслідків, а також до непередбачуваного простою виробництва, дорогої заміни деталей і безпеки та екологічних проблем. Тому у світі все більше стає доцільним використання прогнозованого обслуговування. Прогнозоване обслуговування (ПО) - це процес моніторингу обладнання під час експлуатації з метою виявлення будь-яких погіршень, що дозволяє планувати технічне обслуговування та зменшувати експлуатаційні витрати.

У обладнанні, що обертається, підшипники кочення є одним з найбільш важливих компонентів як з точки зору їх первісного вибору, так і, що не менш важливо, з точки зору їх обслуговування. Виробники підшипників дають докладні вказівки щодо того, що потрібно для техобслуговування, а це часто не береться до уваги та може мати катастрофічні наслідки з точки зору низької якості продукції, зниження ефективності установки або виходу з ладу обладнання. Тому необхідно стежити за станом підшипників кочення, а моніторинг на основі вібрації з більшою ймовірністю виявляє раннє виникнення несправності

Велике значення в зв'язку з цим набуває оснащення агрегатів сучасними комплексами, що дозволяють проводити діагностику технічного стану в процесі їх роботи, серед яких особливе місце займає вібродіагностика з сучасними засобами аналогової і цифрової обчислювальної технікою.

Турбоагрегати газоперекачувальних станцій є об'єктом, де вібродіагностика може бути реалізована у всій її повноті. За допомогою превентивного технічного обслуговування обладнання регулярно ремонтується, незалежно від стану деталей. Зазвичай це стосується планування регулярних відключень машин/установок, незалежно від того, потрібні вони чи ні. Процес може усунути збої до того, як вони відбудуться, але це також призведе до збільшення витрат на технічне обслуговування, оскільки деталі замінюються, коли це не обов'язково потрібно. Частим і прямим результатом профілактичного обслуговування є те, що значна частина технічного обслуговування проводиться тоді, коли ще в цьому немає необхідності. Якщо агрегат можна контролювати таким чином, щоб попередньо попереджати про проблему, значну економію витрат можна отримати, уникаючи зайвих ремонтних робіт.

Мета роботи полягає у запровадженні моніторингу вібрацій, який є найбільш широко використовуваним методом прогнозного технічного обслуговування і за рідкісним винятком, може застосовуватися до широкого кола обертового обладнання. Моніторинг вібрації дозволяє визначити стан обладнання під час його роботи і виявити ті елементи, які починають проявляти ознаки зносу до того, як вони дійсно виходять з ладу. При такому підході незаплановані простої скорочуються або усуваються, що збільшує доступність і ефективність установки і знижує витрати. Це потрібно для того щоб на ранній стадії виявляти можливі несправності та своєчасно відреагувати на них. Для ефективної роботи віброконтролю потрібен час на збір даних та на її обробку.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ

1.1 Сучасний стан галузі

Теперішній стан галузі такий, що на даний момент для обробки отриманої з датчиків інформації найбільш доцільне використання цифрових вимірювальних і обробних пристроїв. Однак є один суттєвий недолік - обмеження швидкодії, що в більшості випадків не дозволяє виконувати діагностику передбачуваних неполадок в роботі роторних машин в режимі реального часу. Дані несправності лише констатуються постфактум, що може привести до руйнування деталей роторних машин, або до суттєвого порушення протікання виконуваних ними технологічних операцій і до появи браку продукції.

Тому основний принцип передбачуваного обслуговування полягає в проведенні вимірювань, які дозволяють передбачити, які частини будуть руйнуватися і коли. Ці вимірювання включають вібрацію машини та робочі дані установки, такі як витрата, температура чи тиск. Постійний моніторинг заздалегідь виявляє виникнення проблем із компонентами, а це означає, що технічне обслуговування проводиться лише за потреби. При такому підході скорочується або усувається незапланований час простою і зменшується ризик катастрофічного збою. Це дозволяє замовляти деталі більш ефективно, тим самим мінімізуючи товарні запаси, а кількість робочої сили може бути запланована, тим самим підвищуючи ефективність та зменшуючи витрати на понаднормовий робочий день.

Основними перевагами ПО є:

- Підвищена надійність машини за рахунок ефективного прогнозування відмов обладнання;
- Скорочення витрат на обслуговування за рахунок мінімізації простоїв через планування ремонту;
- Збільшене виробництво за рахунок більшої доступності машини;

- Зниження споживання енергії;
- Подовжений термін служби підшипника;
- Поліпшення якості продукції.

Підшипники кочення часто є ключовим елементом у багатьох різних типах обладнання та обладнання, що охоплюють усі сектори ринку. З одного боку, вони можуть бути стандартного дизайну, легко доступними та недорогими товарами з невеликою вартістю і призначені для звичайних вентиляторів, насосів і т.д. А з іншого боку, вони можуть бути спроектованими з тривалим часом експлуатації і коштують сотні тисяч доларів, наприклад, для вітрових турбін. Однак у них є одна спільна риса: якщо вони несподівано вийдуть з ладу, вони можуть призвести до відключення обладнання, що призведе до втрати виробництва вартістю від кількох тисяч до багатьох мільйонів доларів. За допомогою стратегії передбачуваного обслуговування таких великих витрат можна уникнути, попередньо попереджуючи про потенційну проблему, що дозволяє планувати та вживати коригувальні заходи у зручний час. Заміна підшипника в коробці передач є кращою, ніж заміна цілої коробки передач, а заміна підшипника двигуна краще, ніж необхідність відправляти двигун на перемотування, щоб зробити дорогий ремонт та замінити деталі.

В основі багатьох стратегій прогнозованого обслуговування лежить стан моніторингу, який виявляє потенційні дефекти критичних компонентів, наприклад підшипники, шестірні тощо на ранній стадії, таким чином дозволяючи планувати заходи по технічному обслуговуванню, економлячи як час, так і гроші та запобігаючи вторинному пошкодженню обладнання, що часто може бути катастрофічним.

Контактні підшипники кочення застосовуються майже в усіх типах обертових машин, успішна і надійна робота яких дуже залежить від обраного типу підшипника, а також від точності всіх пов'язаних компонентів, наприклад, вал, корпус, розпірки, гайки тощо. Інженери підшипників, як правило,

використовують “втому” як звичайний режим відмови, якщо припустити, що підшипники правильно встановлені, експлуатуються та обслуговуються. Завдяки вдосконаленням технології виготовлення та матеріалів, тривалість стомлення, що пов'язана з поверхневими напруженнями, як правило, вже не є обмежуючим фактором і, ймовірно, складає менше 3% відмов у обслуговуванні. На жаль, багато підшипників виходять з ладу передчасно внаслідок забруднення, поганого змащування, нерівності, температурних перевантажень, поганої підгонки/пристосування, незбалансованості та нерівності. Всі ці фактори призводять до збільшення вібрації підшипників, а моніторинг стану застосовується протягом багатьох років для виявлення деградуючих підшипників, перш ніж вони катастрофічно виходять з ладу при пов'язаних з цим витратах простою або значних пошкоджень інших деталей машини.

1.2 Опис технологічної схеми об'єкту управління

Газоперекачувальний агрегат ГТК-10 призначений для стиснення природного газу, що транспортується по магістральних газопроводах. ГТК складається з двох механічних не пов'язаних між собою турбін (турбіни високого тиску для приводу повітряного компресора і силової турбіни для приводу газового нагнітача), повітряного компресора, камери згоряння, повітропідігрівача (регенератора), пускового турбодетандера, а також систем змащення, регулювання, захисту і управління, що забезпечують нормальну роботу і обслуговування установки. Повітря з атмосфери через фільтри засмоктується та стискається осьовим компресором і надходить в підігрівач повітря, де його температура підвищується за рахунок тепла відпрацьованих в турбіні продуктів згоряння. Підігріте повітря спрямовується в камеру згоряння, куди подається і паливо (природний газ). Відпрацьовані гази з камери згоряння спрямовуються в турбіну високого тиску, потужність якої використовується для приводу осьового компресора. Далі продукти згоряння потрапляють в турбіну низького тиску (силову турбіну), який обертає нагнітач. Після силової турбіни

продукти згоряння проходять через підігрівач повітря, віддають частину тепла повітрю та виходять в атмосферу через димову трубу. Обидві турбіни виконані в загальнолитому корпусі, який має внутрішню теплову ізоляцію. Турбіна високого тиску (ТВТ) одноступенева. Ротор ТВТ складається з одновенечного диска, укріпленого на консолі вала повітряного компресора, який обертається в двох підшипниках (передній - опорно-упорний, задній - опорний). Турбіна низького тиску (ТНТ) також одноступенева. Одновенечний диск ТНТ кріпиться на консолі силового вала, який обертається в двох підшипниках. Передній підшипник силового вала опорний, задній підшипник опорно-упорний. Повітряний компресор осьового типу має 10 ступенів. Направляючі лопатки укріплені в литому чавунному корпусі. Ротор компресора барабанного типу. Робочі лопатки кріпляться до ротора за допомогою зубчастих хвостів. Вся турбогрупа змонтована на загальній зварній рамі маслобаку. Камера згоряння прямоточна, складається з корпусу, фронтового пристрою з однієї чергової і шістьма основними пальниками, вогневої частини та змішувального пристрою. Повітропідігрівач (регенератор) виконаний з профільних листів і складається з двох секцій. Рух продуктів згоряння через підігрівач здійснюється одним ходом по каналах, утворений профілем листів. Між листами рухається підігрівається повітря. З'єднання роторів нагнітача і газової турбіни здійснюється за допомогою проміжного вала з зубчастими сполучними муфтами. Пуск агрегату проводиться пусковим турбодетандером, працюючим на газі, який перекачується по магістралі. Паливом є природний газ, що перекачується.

ладу, вартість простою може бути дуже високою. Контроль, аналіз та вирішення проблем, пов'язаних з підшипниками, мають в сучасній промисловості велике значення. Без використання добре налагодженої системи технічного обслуговування, заснованої на прогнозуванні стану, важко боротися з проблемами вібрації і працездатності підшипників.

2. ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

2.1 Опис технологічної схеми об'єкту управління

Метою автоматизації ГТК-10 є забезпечення якісного регулювання технологічних параметрів процесу стиснення газу для забезпечення найкращих умов транспортування. Чим краще виконана система регулювання, тим довше і якісніше вона працює.

Автоматизована система управління ГТК-10 складається з двох рівнів, тобто має дворівневу ієрархію. Верхній рівень складається зі SCADA-системи, що забезпечує дистанційне керування, відображення поточного стану технологічного процесу, відображення трендів, відображення тривог та ін. Нижній рівень є рівнем виконання рішень, так званий польовий рівень, що складається з таких засобів автоматизації як: датчики, виконавчі механізми, регулюючі органи, підсилювачі, перетворювачі, контролери та ін.

Вібрацію ГПА вимірюють на всіх підшипникових опорах. Основні вузли, що визначають вібрацію агрегату:

- турбокомпресор;
- турбіна низького тиску;
- ротор нагнітача;
- проміжний вал, зубчата муфта;
- підшипники ковзання роторів турбін та нагнітача;
- лопаточні апарати осьового компресора і турбін;
- камера згоряння.

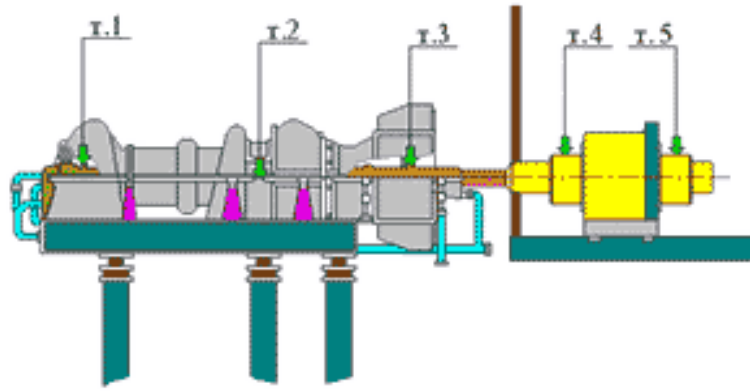


Рисунок 2.1. Розташування точок вимірювання вібрації агрегата ГТК-10.

Далі сигнали з вібродатчиків прямують до щитів управління, де обробляються та порівнюються з допустимими параметрами. Після чого можна легко виявити дефекти підшипників, що зароджуються.

2.2 Призначення та функції створюваної системи

2.2.1 Інформаційні функції

Вимірювання параметрів, що відображають поточний стан технологічного процесу; обмін інформацією між обчислювальними засобами АСУ. Номінальні значення вимірюваних параметрів представлені у Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Основні технологічні параметри ГТК-10

№	Назва параметру	Номінальне значення
1	Температура повітря на вході в ВК, °С	15
2	Температура підшипника після ТД, °С	60
3	Температура підшипника після ВК, перед ТВТ, °С	60
4	Температура підшипника після перед Н, °С	60

Продовження таблиці 2.1.

5	Температура підшипників, °С	55
6	Температура продуктів згоряння після КЗ, °С	760
7	Температура продуктів згоряння після ТВТ, °С	560
8	Температура продуктів згорання перед ТНТ, °С	540
9	Температура масла перед МО, °С	60
10	Температура масла після МО, °С	35
11	Температура пускового газу на вході, °С	25
12	Температура пускового газу на виході, °С	43
13	Тиск масла, МПа	1.5
14	Тиск повітря перед КС, МПа	0.6
15	Тиск паливного газу, МПа	1
16	Тиск газу на вході, МПа	3.7
17	Тиск газу на виході, МПа	4

Всі контрольовані параметри залежно від завдання повинні бути у допустимих межах у стаціонарному режимі.

2.2.2. Керуючі функції

- 1) Регулювання кількості обертів ТВТ (турбіни високого тиску) за допомогою зміни положення РК (регулюючого клапана);

- 2) Регулювання тиску масла ущільнення за допомогою шнекових насосів;
- 3) Регулювання температури масла на виході з маслоохолоджувачів.

2.2.3. Захисні функції

Сигналізація при перевищенні температури масла ущільнення на виході з маслоохолоджувачів; сигналізація при малих обертах ТВТ; сигналізація при недопустимому тиску масла ущільнення; припинення подачі паливного газу в камеру згоряння по імпульсу аварійної зупинки через стопорний клапан.

2.2.4. Функція сигналізації:

Технологічна сигналізація використовується для сповіщення оперативного персоналу про: вихід вимірюваних параметрів за допустимі межі; відмову окремих елементів обладнання. У разі виникнення таких відхилень в SCADA-системі буде виведено відповідне повідомлення та звукова сигналізація.

Таблиця 2.2 Характеристика параметрів

Параметр	Номінальне значення	Допустиме відхилення
Температура підшипника після ТД	60°C	+ 3°C
Температура підшипника після ВК, перед ТВТ	60°C	+ 3°C
Температура підшипника після перед Н	60°C	+ 3°C
Температура підшипників	55°C	+ 3°C
Температура масла перед МО	60°C	+ 3°C

Продовження таблиці 2.2

Температура масла після МО	35°C	+ 3°C
Тиск масла	1,5 МПа	± 0,1 МПа
Обороти ТД	4800 об/хв	± 1%
Обороти ТНТ	6150 об/хв	± 1%
Обороти ТВТ	6200 об/хв	± 1%

2.2.5 Функції супервізорного рівня

АСУТП є дворівневою. На нижньому рівні АСУ ГТК-10 знаходиться контролер з вимірювальними пристроями та виконавчою апаратурою. Контролер отримує дані з датчиків температури, тиску. За допомогою ПЛК реалізовано три контури регулювання: регулювання кількості обертів ТВТ (турбіни високого тиску) за допомогою зміни положення РК; регулювання тиску масла ущільнення за допомогою шнекових насосів; регулювання температури масла на виході з маслоохолоджувачів.

Верхній рівень АСУ ГТК-10 – супервізорний. SCADA – система є основою верхнього рівня системи керування.

SCADA – система повинна реалізовувати наступні функції:

- обмін даними з контролерами;
- архівування даних;
- візуалізація технологічного процесу у вигляді мнемосхем;
- сигналізація реального часу;

- побудова трендів реального часу;
- відображення роботи контурів регулювання.

2.3 Вимоги до реалізацій функцій системи

Для створення інфраструктури виносяться такі вимоги:

- 1) Безперервний збір даних з датчиків вібрації у реальному часі.
- 2) Передавати масиви даних за допомогою відкритих протоколів передачі даних для можливості здійснити інтеграцію системи у будь-яку АСУТП.

2.4 Висновки

Для побудови системи, необхідно дослідити основні необхідні та достатні параметри для побудови системи вібродіагностики, підібрати датчики, пристрої збору та обробки інформації, забезпечити збір та передачу даних по відкритих протоколах, реалізувати SCADA.

3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТУ

3.1 Функціональна структура системи управління об'єктом

На рисунку 3.1 представлена структура системи управління ГПА. Система автоматизації складається з двох рівнів – локальної автоматизації (контролер, вимірювальні пристрої (ВП) і виконавчі механізми (ВМ)) та супервізорного рівня (система диспетчеризації на базі персонального комп'ютера (ПК)).

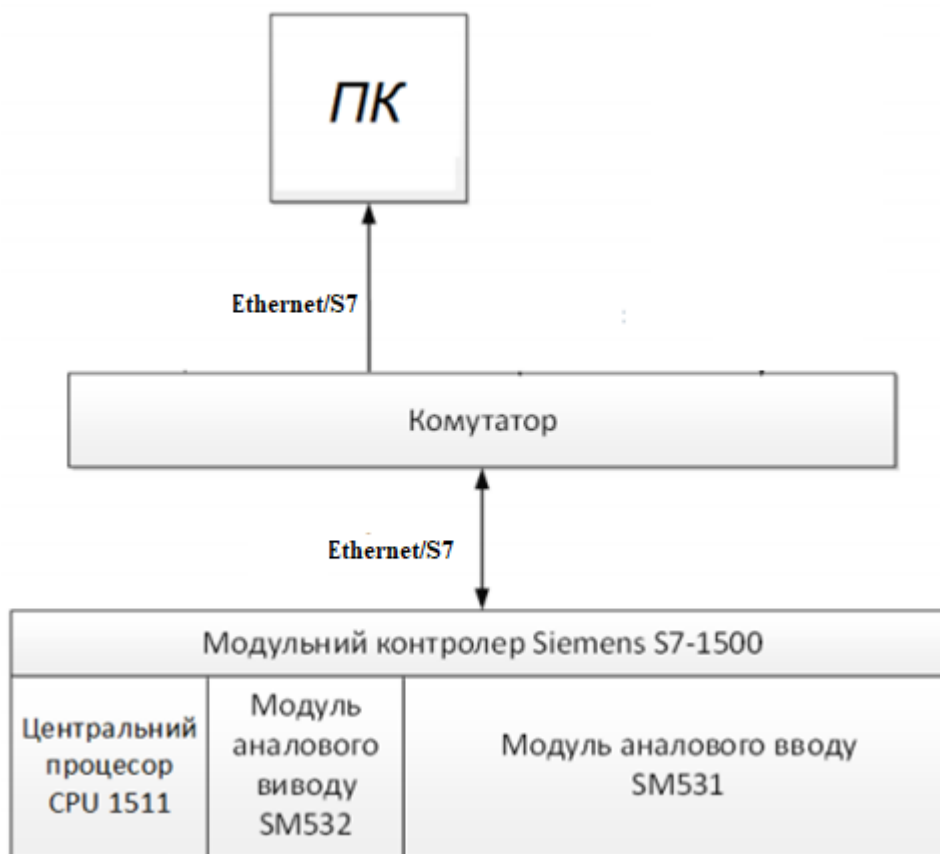


Рисунок. 3.1. Функціональна структура системи автоматизації ГПА

Дані зі SCADA передаються у хмарне сховище.

3.2 Розрахункова частина

Розглянемо метод вилучення особливостей вібрації, пов'язаних зі станом машини, на основі психоакустичного явища, а також нейронних мереж та нейро-нечітких підходів для прогнозування. Розглянемо техніку вилучення особливостей, засновану на явищі психоакустики з наступним підходом згладжування та прогнозування.

Процес вилучення та прогнозування вібраційних характеристик показано на рисунку 3.2.

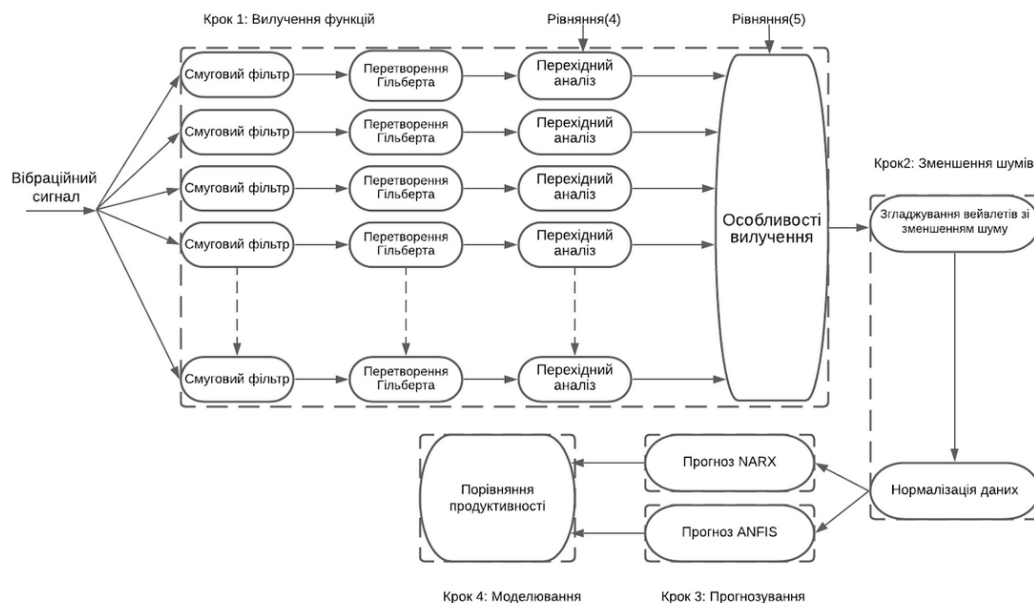


Рисунок 3.2. Процес прогнозування

3.2.1. Вилучення перехідних функцій

Алгоритм вилучення особливостей вібрації працює за принципом перехідного аналізу. Перехідні процеси - це дуже короткі та різкі зміни звукових хвиль через нелінійність. Нелінійність може бути механічним порушенням в електромеханічних системах або небажаними шумами на лініях передачі. Алгоритм перехідного аналізу обчислює оцінку перехідних процесів у реальному часі, спричинених нелінійністю, сприйнятою людським вухом. Аналізатор використовує знання про природу людського вуха, що фільтрують сигнали, як представлено у посиланні [8]. Операція фільтрації забезпечує виявлення перехідних процесів таким чином, що відповідає природі вушної раковини і, таким чином, сприймається людським вухом. Перехідний аналіз дає набагато кращу кореляцію із сприйманою якістю звуку, ніж традиційні вимірювання на основі частотного аналізу.

Алгоритм вилучення особливостей вібрації використовує принципи слухових моделей, розроблені слуховими фізіологами [5]. Згідно з психоакустичною теорією, імпульси з коротким часом наростання або падіння містять широкий спектр частот. Отже, можна виявити миттєву енергію в смугах частот в перехідному діапазоні вуха. Загальним методом для цього є використання банку фільтрів, що містить групу смугових фільтрів, що охоплюють інтервал частот, що цікавить. Призначення смугових фільтрів полягає у виявленні імпульсів у смузі частот, де імпульси мають найбільшу енергію, сприйняту людським вухом. Це буде фільтр, де форма імпульсного відгуку смугового фільтра найкраще відповідає формі імпульсів, але змінюється в часі. У цьому дослідженні використовується банк гамматонових фільтрів, як показано на рисунку 3.3. Вперше розроблений Паттерсоном та Холдворт [4], банк гамматонових фільтрів являє собою масив смугових фільтрів, що імітує відповідь вушної раковини людського вуха. У кожній точці вздовж вушної раковини психоакустична міра ширини слухового фільтра представлена еквівалентною прямокутною смугою пропускання (ERB).

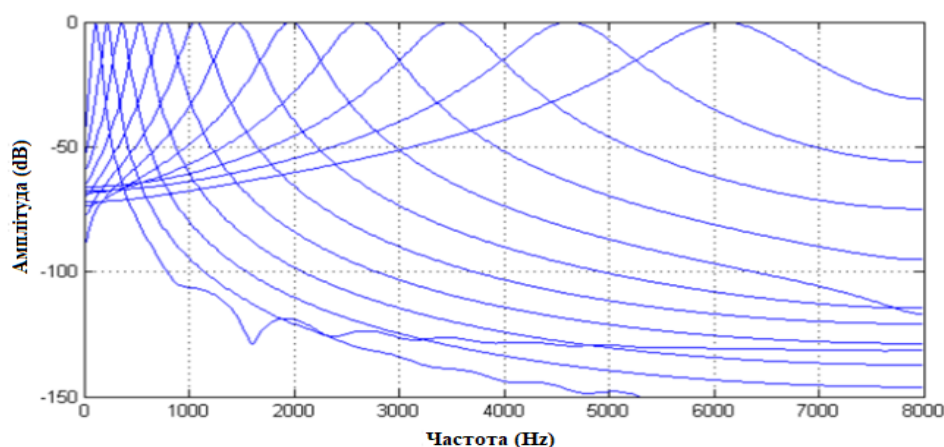


Рисунок 3.3. Банк фільтрів гамматону

ERB є психоакустичним показником пропускнув здатності фільтра в банку фільтрів. Пропускна здатність фільтра збільшується зі збільшенням його

центральної частоти. Зв'язок між ERB і центральною частотою F_c Гц задається наступним рівнянням

$$ERB = 24.7 + 0.108F_c \quad (1)$$

Імпульсна характеристика смугового фільтра визначається наступним співвідношенням [4]:

$$h(t) = Rt^{N-1}e^{-2\pi mt} \cos(2\pi F_c t + \phi) \quad (2)$$

Де R - довільний коефіцієнт, який зазвичай використовується для нормалізації передачі пікової величини до одиниці, N - порядок фільтра, m - параметр, який визначає тривалість імпульсної характеристики і, отже, смугу пропускання фільтра, F_c - центральна частота фільтра, і ϕ - фаза тону. На малюнку 3.4 показана імпульсна характеристика гамматонового фільтра $F_c = 1000\text{Hz}$, $m = 125\text{Hz}$ і $N = 4$. Для виявлення енергії в каналах вихідні сигнали з банку смугових фільтрів перетворюються за Гільбертом. Перетворення Гільберта виявляє огинаючі фільтруючі сигнали смугового пропускання і витягує миттєву енергію несправних імпульсів. Перетворення Гільберта можна виразити як

$$\hat{x}(t) = x(t) * \frac{1}{\pi t} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (3)$$

Перетворення Гільберта створює штучно складний сигнал $u(t)$ з $x(t)$. Дійсна частина $x(t)$ із $u(t)$ є вихідним сигналом, а уявна частина $\hat{x}(t)$ є перетворенням Гільберта дійсної частини. Таким чином, $u(t)$ визначається як $u(t) = x(t) + j\hat{x}(t)$.

Величина і фаза $u(t)$ обчислюється як $A(t) = \sqrt{x(t)^2 + \hat{x}(t)^2}$ та $\theta(t) = \arctan \frac{\hat{x}(t)}{x(t)}$.

Величина $A(t)$ є огинаючою сигналу і завжди є додатною функцією.

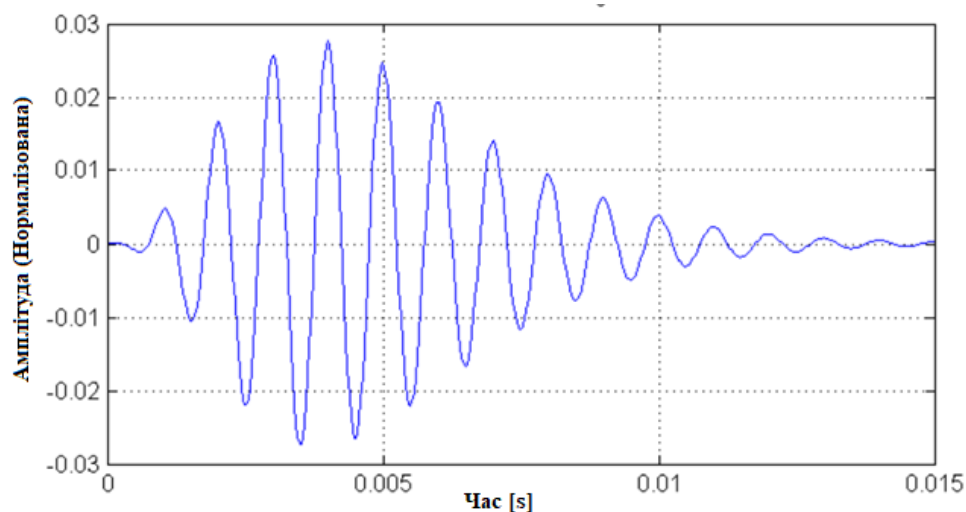


Рисунок 3.4. Імпульсна характеристика фільтра гамматону

$$(f_c = 1000 \text{ Hz}, b = 125 \text{ Hz}, N = 4)$$

Після того, як імпульси витягуються за допомогою виявлення огинаючої або перетворення Гільберта, слідує блок вилучення ознак. У блоці вилучення ознак амплітуди та нахили імпульсів обчислюються відповідно до рівняння (4) та рисунку 3.5.

$$S_r = \frac{\text{Високий контрольний рівень} - \text{Низький контрольний рівень}}{\text{Час підйому}} \quad (4)$$



Рисунок 3.5. Розрахунок амплітуди та нахилу імпульсу

Амплітуда (максимальна величина) - це лінійний детектор імпульсів у повній частотній області. Нахил дуже чутливий для вловлювання нелінійних звуків у високочастотній області. Обидві метрики можна узагальнити до логарифмічного показника, що виражає кількість та розмір імпульсів. Індекс може базуватися на величинах або нахилах імпульсів. Очікується, що імпульси з коротким часом підйому будуть дратувати вухо більше, ніж імпульси з більшим часом підйому. Таким чином, розглядаючи огинаючу імпульсу, видається розумним сфокусувати міру на нахилі в передній кромці. Кожен виявлений перехідний процес характеризується амплітудою 80% та максимальним нахилом у передній кромці. Для того, щоб отримати однакову кількість виявлених перехідних процесів у кожній смузі частот, вихід з аналізатора перехідних процесів розбивається на блоки заздалегідь заданої тривалості. Тривалість визначається як компроміс між збереженням складності вимірювання та рівною кількістю виявлених перехідних процесів у кожному каналі. У кожному блоці збирається лише перехідний процес з максимальним нахилом. Максимальний нахил знаходять шляхом диференціювання сигналу та знаходження максимальної амплітуди диференційованого сигналу. Логарифмічний показник обчислюється наступним чином

$$Vb_s = 10 \log_{10} \left(\frac{\frac{1}{N_B N_C} \sum_{i, channels} \sum_{j=1}^{N_B} (S_{\max})_{ij}^2}{S_{ref}^2} \right) \quad (5)$$

Де Vb_s - індекс крутизни вібрації, i - індекс для смугового фільтра, а N_C - загальна кількість використовуваних смугових фільтрів. Індекс підблоків у фільтрованому смуговому проході сигналу дорівнює j , а N_B - загальна кількість підблоків. Максимальна крутизна в смуговому фільтрі i та підблоку j дорівнює $(S_{\max})_{ij}$. Аргумент для квадратування максимальної крутизни в рівнянні (5) - це просто

поставити на користь великі значення крутизни. $S_{ref} = 1$, якщо виміряна амплітуда є прискоренням. Для амплітудного індексу vb_A , $(S_{max})_{ij}$ в рівнянні (5) замінено на $(A_{max})_{ij}$, де A_{max} - максимальна амплітуда недиференційованого сигналу огинаючої. Виділені особливості вібрації втрачають шум за допомогою техніки знешумлення вейвлетів і нормалізуються перед прогнозуванням.

3.2.2. Хвилястий шум

Характеристики, вилучені з реальних сигналів, що виходять із складних динамічних систем, створюють серйозну проблему шуму. Тому важливо вимкнути вилучені елементи перед виконанням моделювання [7]. Зменшення шуму сигналу є одним з найбільш ефективних застосувань вейвлетів при обробці сигналів. Методи знешумлення на основі вейвлет-методів можуть надати значно вищу якість знешумлення, ніж звичайні методи. Крім того, методи, засновані на перетворенні вейвлетів, зберігають деталі сигналу після зняття шуму [2]. Хвилі мають обмежену тривалість, вагомі математичні функції. Інтеграл часу вейвлет-функцій дорівнює нулю. На рисунку 3.6 зображено деякі загальні вейвлети. Подібно до перетворення Фур'є, де ми використовуємо синуси та косинуси як базові функції, вейвлет-перетворення використовує вейвлети як базові функції. Хвилясті сигнали використовуються у багатьох різних сферах, включаючи стиснення, обробку сигналів та зменшення шуму [3]. В аналізі Фур'є [1] ми наближаємо функцію $f(x)$ за допомогою синусів і косинусних функцій з різними частотами та амплітудами. Таким чином, стає рівнянням наближення

$$\hat{f}(x) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \sin(kx) + b_k \cos(kx)) \quad (6)$$

Де, a_0 , a_k та b_k обчислюються з перетворення Фур'є[1] як

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (7)$$

Вейвлет-аналіз виконується подібно до перетворення Фур'є, але з масштабованими та перекладеними версіями материнського вейвлету $\psi(x)$ як базові функції. Материнський вейвлет може бути будь-яким із малюнка 3.7, а масштабування та переклад визначаються як дочірні вейвлети і можуть бути обчислені як

$$\psi_{j,k}(x) = \kappa \psi(2^j x - k) \quad (8)$$

Де κ - константа, k - переведення вейвлетів, а 2^j - переклад масштабу. Ми можемо оцінити $f(x)$ з наступного рівняння в вейвлет-аналізі

$$\hat{f}(x) = \sum_{\forall j, \forall k} c_{j,k} \psi_{j,k}(x) \quad (9)$$

Де, $c_{j,k}$ - коефіцієнти вейвлету і отримуються за допомогою вейвлет-перетворення як

$$c_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi_{j,k}(x) dx \quad (10)$$

Кожен коефіцієнт $c_{j,k}$ отриманий в рівнянні (10) - внесок вейвлету $\psi_{j,k}$ у все наближення для вихідного сигналу. Якщо значення цього коефіцієнта $c_{j,k}$ дуже мало і його внесок у наближення вважається незначним, ми можемо опустити відповідний дочірній вейвлет $\psi_{j,k}$ з наближення. Ця процедура називається пороговим значенням, і вона створює основу для зменшення шуму на вейвлеті. Основні функції вейвлет-аналізу є скінченними та обмежені одним розміром, і це

робить вейвлет-аналіз корисною технікою для виявлення локальних особливостей, таких як розриви та сплески в сигналі. З іншого боку, основні функції аналізу Фур'є нескінченні за своєю суттю, і наближення певної частини сигналу впливає на весь сигнал. Вейвлет-аналіз - це спільний метод частотно-частотного аналізу на відміну від перетворення Фур'є[1], який є суто частотним аналізом. Ця функція робить вейвлет-аналіз для виявлення часу, коли відбулася конкретна подія. Згладжування вейвлетів або аналіз тенденцій вейвлетів використовується для видалення високочастотних компонентів з вилучених елементів, що можна прийняти за шум.

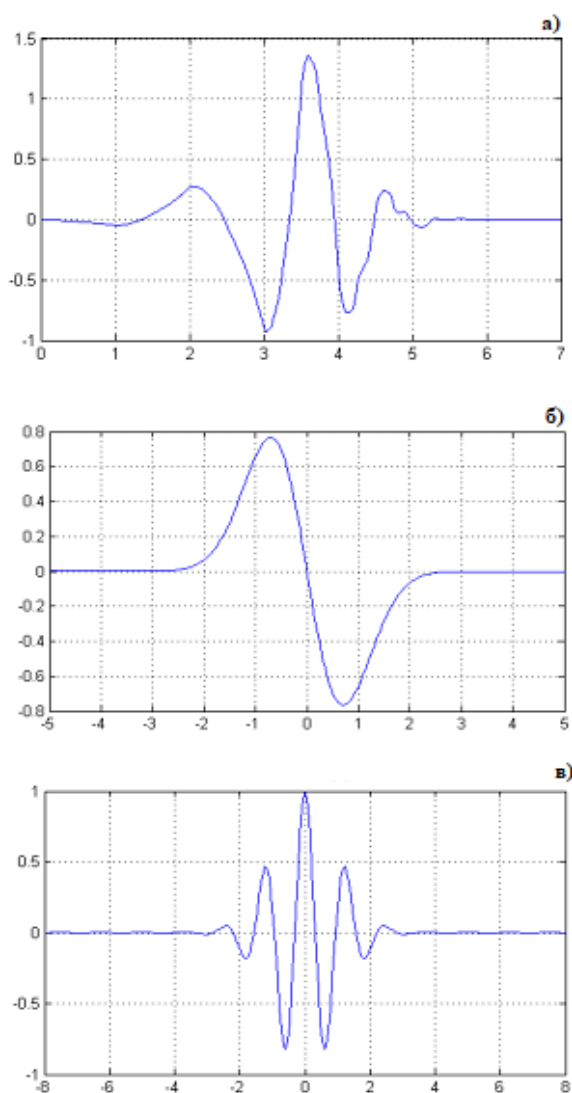


Рисунок 3.6. Загальновживані вейвлети (а) Добеші (б) Гауссовий (в) Морлет

3.2.3. Time Series Prediction

Прогнозування тимчасового ряду $x(t)$ на r тимчасових кроків вперед, x_{t+r} , виходить на основі його значень на поточних і минулих тимчасових кроках $[x_{t-mr}, x_{t-(m-1)r}, x_{t-(m-2)r}, \dots, x_{t-2r}, x_{t-r}, x_t]$ як $x_{t+r} = \chi(x_{t-mr}, x_{t-(m-1)r}, x_{t-(m-2)r}, \dots, x_{t-2r}, x_{t-r}, x_t)$. Де χ - це функція-предиктор, яка може бути апроксимована за допомогою різних традиційних, статистичних та штучно інтелектуальних методів, таких як байєсівську, що підтримує векторна регресія, адаптивна система нейро-нечіткого виводу (ANFIS) і нейронні мережі (NN). У цьому розділі використовується динамічна нейронна мережа, яка називається нелінійною авторегресійною моделлю з екзогенними входами (NARX) і методами ANFIS для апроксимації функції предиктора χ .

3.2.4. NARX

NARX - це динамічна нейронна мережа, яка використовується для моделювання нелінійних динамічних систем. NARX можна представити математично як

$$y(n+1) = f \left[\begin{matrix} y(n), \dots, y(n-d_y+1); \\ u(n), u(n-1), \dots, u(n-d_u+1) \end{matrix} \right] \quad (11)$$

Де, $u(n)$ та $y(n)$ - це вхідні та вихідні дані системи на етапі часу n , тоді як $d_u \geq 1$ та $d_y \geq 1$, $d_u \leq d_y$ - це порядки вхідної пам'яті та вихідної пам'яті. Рівняння (11) також можна записати в компактному вигляді як $y(n+1) = f[y(n); u(n)]$, де $u(n)$ і $y(n)$ - це вхідні та вихідні вектори регресора відповідно. Функція нелінійного відображення $f()$ апроксимується за допомогою алгоритму багатошарового сприйняття (MLP), навченого алгоритмом простого зворотного поширення. Це дослідження стосується нелінійного одновимірного прогнозування часових

рядів, і для цього ми встановили $d_y = 0$. Це зводить мережу NARX до архітектури нейронної мережі (TDNN) із затримкою та рівняння. (11) зменшує до [6]

$$y(n+1) = f[u(n), u(n-1), \dots, u(n-d_u+1)] \quad (12)$$

На рисунку 3.7 показано спосіб навчання та тестування NARX. На етапі навчання петлі зворотного зв'язку (пунктирні лінії на рисунку 3.7) не використовуються. Під час фази тестування або прогнозування, якщо потрібні багатоступінчасті прогнози, вихідні значення одночасно подаються як на вхідний регресор $u(n)$, так і на вихідний регресор $y(n)$. Таким чином, отримана модель прогнозування містить два цикли зворотного зв'язку, один для вхідного регресора та інший для вихідного регресора.

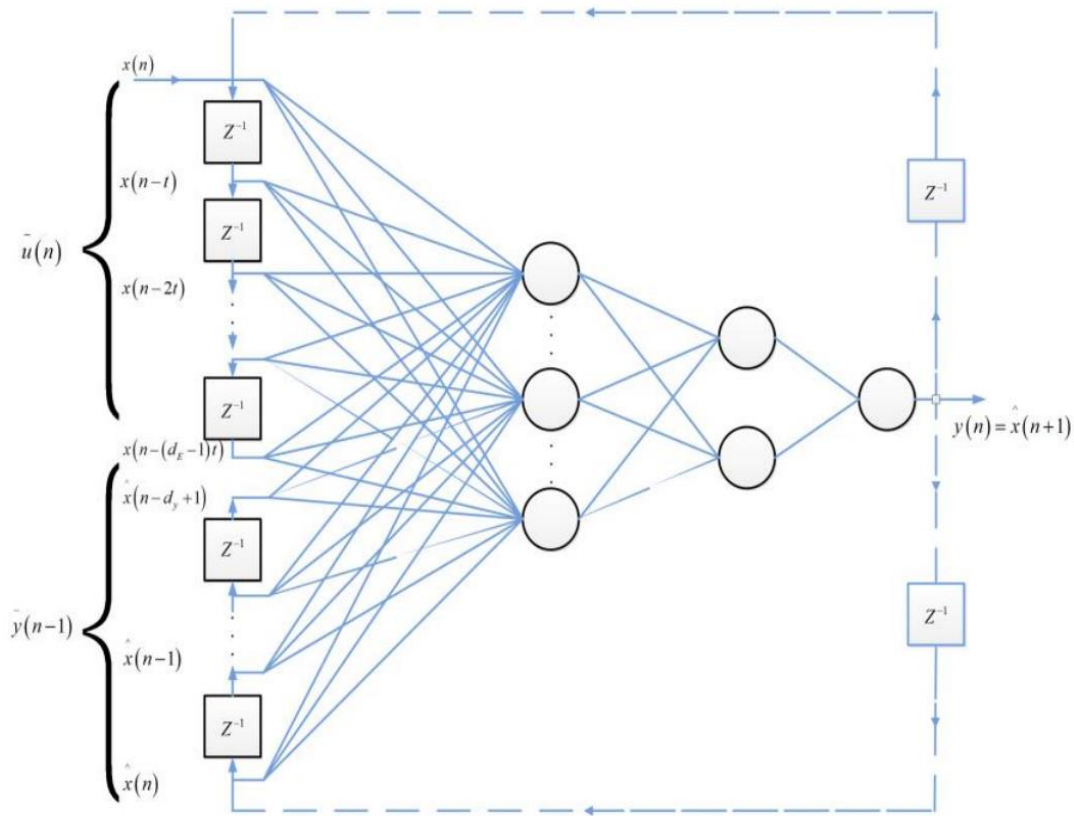


Рисунок 3.7. Навчання та тестування NARX (цикли зворотного зв'язку потрібні лише під час тестування)

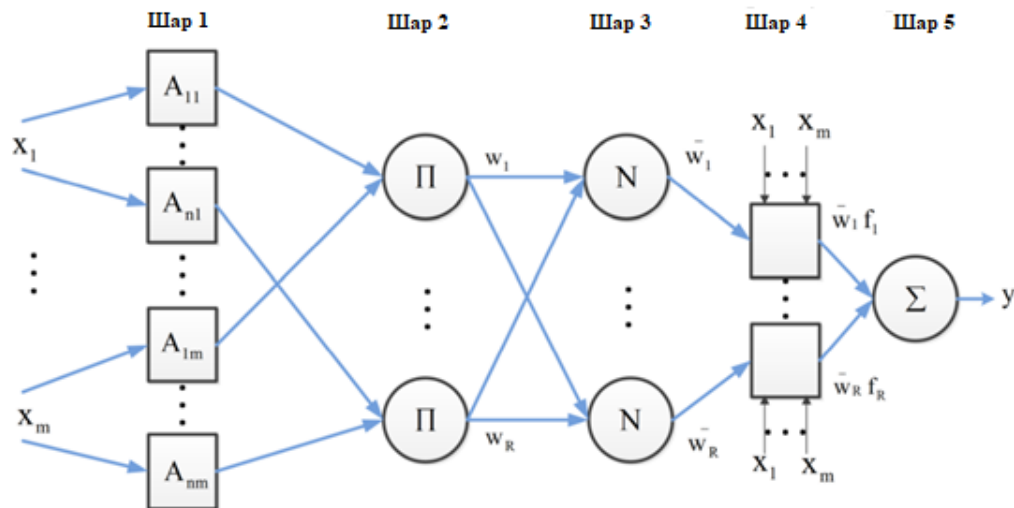


Рисунок 3.8. Основна структура ANFIS

3.2.5. Адаптивна нейро-нечітка система виведення

Основна структура ANFIS показана на рисунку 3.8. ANFIS має m входів $(x_1, x_2, \dots, x_m)$, кожен з n функціями належності (MFs), правилами R та одним виходом y . Коли ANFIS передбачає часовий ряд, вхідними даними є $(x_{t-mr}, x_{t-(m-1)r}, x_{t-(m-2)r}, \dots, x_{t-2r}, x_{t-r}, x_t)$, а вихід ANFIS $y = x_{t+r}$. У вищезазначеному випадку ANFIS передбачає часові ряди r часових кроків вперед на основі поточного та попередніх m значень. Ми використовуємо систему виведення сугено-нечіткого типу з п'ятьма шарами та $m=4$ входами. Кількість вузлів N у шарі 1 є добутком кількості входів m і вхідні MFs n для кожного входу, тобто $N = m \cdot n$.

Кількість вузлів у шарах 2-4 дорівнює кількості правил R в нечіткій основі правил. Шар 1 є нечітким шаром, і він перетворює чіткі входи x у мовні мітки A_{ij} . Прикладами лінгвістичних міток є малі, середні, великі тощо, і трансформація відбувається з певним ступенем MFs як $O_{ij}^1 = \mu_{ij}(x)$. Де $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, n$, і μ_{ij} представляє j -ту функцію членства для вхідного x_i . Використовуються різні

типи MFs, такі як трикутні, трапецієподібні, гауссові та ін. Рівень 2 ANFIS є продуктовим шаром, де для кожного вузла k вихідний коефіцієнт представляє ваговий коефіцієнт або міцність стрільби за правилом R , пов'язане з k .

Вихід w_k цього шару дорівнює $O_k^2 = \prod \mu_{ik}(x_i)$, і це добуток усіх його входів, масштабованих відповідно до MFs μ_{ik} . Де $i=1, \dots, m$ і $k=1, \dots, R$. Шар 3 є нормувальним шаром, і вихід кожного вузла k в цьому шарі представляє

нормований коефіцієнт ваги $\bar{w}_k$ k -го правила як $O_k^3 = \frac{w_k}{\sum_k w_k}$. Де $k=1, \dots, R$. Шар 4 є шаром дефузіфікації, і вихід кожного вузла в цьому шарі є зваженим вихідним сигналом нечіткого правила if-then типу Сугено першого порядку як $O_k^4 = \bar{w}_k f_k$. Де $f_k = \sum_j p_{kj} x_j + r_k$, $j=1, \dots, n$, $k=1, \dots, R$, f_k - вихідні дані k -го правила, а параметри p_{kj} і r_k називаються послідовними параметрами. Шар 5 є кінцевим вихідним шаром, і він містить лише один вузол всередині. Вихід рівня 5 є загальним результатом у мережі як $O^5 = \sum_k \bar{w}_k f_k$. Це також сума всіх зважених результатів правил. Нам

потрібен навчальний набір бажаних пар вводу / виводу $(x_1, x_2, \dots, x_m, y)$ для підготовки ANFIS або моделювання цільової системи. На етапі навчання ANFIS адаптивно відображає простір входних характеристик $(x_1, x_2, \dots, x_m)$ до відповідного виводу y . Зіставлення в системі ANFIS здійснюється за допомогою функцій належності (MFs), бази правил та відповідних параметрів, які імітують набір даних навчання. На етапі навчання ANFIS використовується гібридний метод навчання. Він використовує підхід градієнтного спуску для тонкої настройки параметрів, що визначають MFs, і застосовує метод найменших квадратів для ідентифікації наступних параметрів, які визначають коефіцієнт кожного рівняння на виході в базі нечітких правил типу Сугено. Тренувальний процес триває до

досягнення бажаних критеріїв зупинки, тобто кількості епох або допуску помилок.

3.3 Вимоги до реалізації функцій ПТКЗА

3.3.1 Відповідність державним та міжнародним стандартам

Основними вимогами до розроблюваної системи є:

1) Дотримання вимог стандарту

ІЕС 61131 (для ПЛК): ІЕС 61131-2 Programmable controllers — Part 2: Equipment requirements and test (Програмовані контролери. Частина 2. Вимоги до устаткування та випробовування) визначає вимоги до апаратних засобів програмованих контролерів (PLC) і пов'язаних з ними зовнішніх пристроїв, а також методи їх випробовування.

ІЕС 61131-3 Programmable controllers — Part 3: Programming languages (Програмовані контролери. Частина 3. Мови програмування) визначає для кожної із зазвичай використовуваних мов програмування основні сфери застосовування, синтаксичні та семантичні правила, прості, але повні основні групи елементів програмування, застосовувані випробування та засоби, які виробники можуть розширювати або адаптувати для власного застосовування програмованих контролерів.

ІЕС 61131-5 Programmable controllers — Part 5: Communications (Програмовані контролери. Частина 5. Зв'язок) обумовлює зв'язок між програмованими контролерами та іншими системами вимірювання та керування

2) Для засобів вимірювання:

ДСТУ ISO 4266-1:2010 Метрологія. Вимірювання рівня і температури в резервуарах автоматичними методами.

ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009 Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини і газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 5.

ДСТУ ГОСТ 13320:2008 Метрологія. Промислові газоаналізатори. Загальні технічні умови ДСТУ EN 837-2:2004 Манометри. Частина 2. Вимоги щодо вибирання та встановлення манометрів.

- 3) Програмовані логічні контролери та супутнє обладнання повинні відповідати вимогам державного стандарту ДСТУ 4108-2002 «Контролери програмовані. Частина 2. Вимоги до обладнання та випробування», міжнародним аналогом якого є стандарт ІЕС 61131-2. Дані стандарти визначають вимоги щодо обслуговування, експлуатації, зберігання ПЛК та супутнього обладнання, а також вимоги щодо безпеки;
- 4) Обладнання, що входить до складу вимірювальних каналів та каналів керування повинне відповідати вимогам стандарту ІЕС 60654-1-2001 «Обладнання для вимірювання та керування в промислових процесах. Умови експлуатації. Частина 1. Кліматичні умови» та ІЕС 60654-2-2001 «Обладнання для вимірювання та керування в промислових процесах. Умови експлуатації»;
- 5) Загальні вимоги до спряження виробів - ДСТУ 3451-96 Технічні засоби для розподілених автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Розробка технічного забезпечення системи управління

Перелік усіх інформаційних каналів із вказаним діапазоном вимірювання, похибки, типу сигналу та функцій наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Інформаційне забезпечення

Параметр	Межі виміру	Похибка	Сигнал	Функції
Температура повітря на вході /в ВК	-50...250°C	0.05%	(4-20)мА	Контроль
Температура підшипник а після ТД	-40...60°C	0.05%	(4-20)мА	Контроль, сигналізації, захисту
Температура підшипник а після ВК, перед ТВТ	-40...60°C	0.05%	(4-20)мА	Контроль, сигналізації, захисту
Температура підшипник а після перед Н	-40...60°C	0.05%	(4-20)мА	Контроль, сигналізації, захисту
Температура підшипник ів 11 шт.	-40...60°C	0.05%	(4-20)мА	Контроль, сигналізації, захисту
Температура продуктів згорання після КЗ	-40...1000°C	0.5%	(4-20)мА	Контроль, захисту
Температура продуктів згорання після ТВТ	-40...1000°C	0.5%	(4-20)мА	Контроль
Температура продуктів згорання перед ТНТ	-40...1000°C	0.5%	(4-20)мА	Контроль
Температура продуктів згорання перед ТНТ	-40...1000°C	0.5%	(4-20)мА	Контроль

Продовження таблиці 3.1

Температура масла перед МО	-40...1000°C	0.5%	(4-20)мА	Контроль, сигналізації, захисту
Температура масла після МО	-40...1000°C	0.5%	(4-20)мА	Контроль, сигналізації, захисту
Температура пускового газу на вході	-40...1000°C	0.5%	(4-20)мА	Контроль
Температура пускового газу на виході	-40...1000°C	0.5%	(4-20)мА	Контроль
Тиск масла	0...1.6 МПа	0.25%	(4-20)мА	Контроль, захисна
Тиск повітря перед КС	0...1 МПа	0.25%	(4-20)мА	Контроль
Тиск паливного газу на вході	0...1.6 МПа	0.25%	(4-20)мА	Контроль, захисна
Тиск газу на вході	0...4 МПа	0.25%	(4-20)мА	Контроль
Тиск газу на виході	0...5 МПа	0.25%	(4-20)мА	Контроль
Тиск паливного газу перед РК	0...0.6 МПа	0.25%	(4-20)мА	Контроль
Тиск паливного газу перед КЗ	0...2 МПа	0.25%	(4-20)мА	Контроль

3.4.1 Опис приладів для вимірювання технологічних параметрів

У якості датчиків вібрації вибір припав на датчик від компанії STMicroelectronics, а саме на IIS3DWB.

IIS3DWB надширокий (пропускна здатність до 6 кГц), малошумний, 3-осьовий цифровий датчик вібрації. IIS3DWB - це система в комплекті з 3-осьовим цифровим акселерометром з низьким рівнем шуму в надширокому і плоскому діапазоні частот. Широка смуга пропускання, низький рівень шуму, дуже стабільна та повторювана чутливість, а також можливість роботи в розширеному діапазоні температур (до +105 ° C) роблять пристрій особливо придатним для контролю вібрації в промислових цілях. Висока продуктивність при низькому споживанні енергії, а також цифровий вихід та вбудовані цифрові функції, такі як FIFO та переривання, мають першочергове значення в промислових бездротових датчиках, що працюють від акумуляторів.

Ключові особливості:

- 3-осьовий датчик вібрації з цифровим виходом
- Обраний користувачем повномасштабний: $\pm 2 / \pm 4 / \pm 8 / \pm 16$ г
- Ультра-широкий і плоский діапазон частотної реакції: від DC до 6 кГц (± 3 дБ)
- Ультранизька щільність шуму: до 75 мкг / $\sqrt{\text{Гц}}$ в 3-осьовому режимі / 60 мкг / $\sqrt{\text{Гц}}$ в режимі однієї осі
- Висока стабільність чутливості над температурою і проти механічних ударів
- Розширений температурний діапазон від -40 до +105 градусів за Цельсієм

- Низька потужність: 1,1 мА з усіма 3 осями, забезпечуючи повну продуктивність
- Серійний інтерфейс SPI
- Низькочастотний або високочастотний фільтр з частотою вирізу яку можна обрати
- Переривання для пробудження / активності - бездіяльність / порогові значення FIFO
- Вбудований FIFO: 3 кБ
- Вбудований датчик температури
- Вбудований самообустроюваний
- Напруга поставок: від 2,1 В до 3,6 Вт
- Компактний пакет: LGA 2.5 x 3 x 0.83 мм 14-свінець
- ЕКОПАК, RoHS і "Зелений"

Технічні засоби автоматизації, що здійснюють контроль наведені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 Технічні засоби автоматизації

Параметр	Прилад	Робочий діапазон	Сигнал
Температура повітря на вході/ в ВК	Термометр опору ТСП-У-1-15- Pt1000. Діапазон вимірювання (-50...250) °С, к.т. 1	(10...200) °С	(4-20)мА
Температура підшипника після ТД	Уніфікований датчик температури –ТСМ-1-3-100М-А. Діапазон вимірювання (-50...+150) °С, к.т. 1	(40...58) °С	(4-20)мА

Продовження таблиці 3.2

Температура підшипника після ВК, перед ТВТ	Уніфікований датчик температури –ТСМ-1-3-100М-А. Діапазон вимірювання (-50...+150) °С, к.т. 1	(40...58) °С	(4-20)мА
Температура підшипника після перед Н	Уніфікований датчик температури –ТСМ-1-3-100М-А. Діапазон вимірювання (-50...+150) °С, к.т. 1	(40...58) °С	(4-20)мА
Температура підшипників 11 шт.	Уніфікований датчик температури –ТСМ-1-3-100М-А. Діапазон вимірювання (-50...+150) °С, к.т. 1	(40...58) °С	(4-20)мА
Температура продуктів згорання після КЗ	Уніфікований датчик температури – термопара 2700 ТХА-К. Діапазон вимірювання (- 40...+1000) °С, к.т. 1	(500...800) °С	(4-20)мА
Температура продуктів згорання після ТВТ	Уніфікований датчик температури – термопара 2700 ТХА-К. Діапазон вимірювання (-40...+1000) °С, к.т. 1	(500...800) °С	(4-20)мА

Продовження таблиці 3.2

Температура продуктів згорання перед ТНТ	Уніфікований датчик температури – термопара 2700 ТХА-К. Діапазон вимірювання (-40...+1000) °С, к.т. 1	(500...800) °С	(4-20)мА
Температура масла перед МО	Уніфікований датчик температури –ТСМ-1-3-100М-А. Діапазон вимірювання (-50...+150) °С, к.т. 1	(50...80) °С	(4-20)мА
Температура масла після МО	Уніфікований датчик температури –ТСМ-1-3-100М-А. Діапазон вимірювання (-50...+150) °С, к.т. 1	(40...60) °С	(4-20)мА
Температура пускового газу на вході	Уніфікований датчик температури –ТСМ-1-3-100М-А. Діапазон вимірювання (-50...+150) °С, к.т. 1	(30...50) °С	(4-20)мА
Температура пускового газу на виході	Уніфікований датчик температури –ТСМ-1-3-100М-А. Діапазон вимірювання (-50...+150) °С, к.т. 1	(30...50) °С	(4-20)мА
Тиск масла	Датчик тиску А-10-3-КГ416- HD1Z-AA-AGZ-ZZ. Діапазон вимірювання (0... 1.6) МПа, к.т. 0,25	1.5 МПа	(4-20)мА

Продовження таблиці 3.2

Тиск повітря перед КС	Датчик тиску À-10-3- KG398- HD1Z-AA- AGZ-ZZ Діапазон вимірювання (0... 1) МПа, к.т. 0,25	0.6 МПа	(4-20)мА
Тиск паливного газу на вході	Датчик тиску À-10-3- KG416- HD1Z-AA- AGZ-ZZ Діапазон вимірювання (0... 1.6) МПа, к.т. 0,25	1 МПа	(4-20)мА
Тиск пускового газу на вході	Датчик тиску À-10-3- KG439- HD1Z-AA- AGZ-ZZ Діапазон вимірювання (0... 4) МПа, к.т. 0,25	3.7 МПа	(4-20)мА
Тиск пускового газу на виході	Датчик тиску À-10-3- KG449- HD1Z-AA- AGZ-ZZ Діапазон вимірювання (0... 5) МПа, к.т. 0,25	4 МПа	(4-20)мА
Тиск паливного газу перед РК	Датчик тиску À-10-3- KG359- HD1Z-AA- AGZ-ZZ Діапазон вимірювання (0...0.6) МПа, к.т. 0,25	0.5 МПа	(4-20)мА
Тиск паливного газу перед КЗ	Датчик тиску À-10-3- KG420- HD1Z-AA- AGZ-ZZ Діапазон вимірювання (0... 2) МПа, к.т. 0,25	1.6 МПа	(4-20)мА

3.4.2 Опис каналів керування

Перелік всіх каналів керування із зазначенням типів використовуваних сигналів і функцій наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Опис каналів керування

Канал керування	Пристрій	Сигнал	Функції АСУ ТП
Регулювання кількості обертів ТВТ (за допомогою РК)	Електропривод Siemens GMA, Час ходу 90, зусилля 20Нм	Ai (4-20)мА Ao (0-10)В	Керування
Регулювання тиску масла ущільнення(за допомогою шнекових насосів)	Частотний перетворювач Sinamics G 120P потужність 15 кВт. Частотний перетворювач Може отримувати дискретне значення стану (вкл./викл.)	4–20мА	Керування, захист та блокування
Регулювання температури масла (за допомогою маслоохолоджувачів)	Частотний перетворювач Sinamics G 120P потужність 9 кВт. Частотний перетворювач Може отримувати дискретне значення стану (вкл./викл.)	4–20мА	Керування, захист та блокування

Для забезпечення можливостей розширення та модернізації системи автоматизації контролер повинен підтримувати підключення додаткових модулів вводу-виводу, мати декілька інтерфейсів обміну даними для реалізації мережевої взаємодії. Для забезпечення виконання всіх функцій автоматизації контролер повинен мати достатню кількість точок вводу виводу.

Необхідна кількість аналогових точок:

- 1) входів - не менше 35:
 - для підключення аналогових датчиків (34 точок: 4–20мА).
 - для зв'язку з виконавчими механізмам (5 точки: 4–20мА).
- 2) виходів- не менше 1. Тип вихідних аналогових сигналів
 - уніфікований струмовий сигнал 4...20мА.

Необхідна кількість дискретних точок:

- 1) входів – не менше 1
- 2) виходів – не менше 8 (0-24В).

3.5 Програмна реалізація системи управління

Розроблена в даному проекті система автоматизації повинна забезпечити в автоматичному режимі контроль і сигналізацію основних параметрів технологічного процесу та їх регулювання в автоматичному або ручному режимі. Розглянемо контури, що входять до АСУ.

3.5.1 Регулювання кількості обертів ТВТ

Зазначимо, яким чином реалізується функція АСР:

1. Частота обертання ТВТ вимірюється А5S (діап. 0,5 до 25000Гц).
2. Сигнал з датчику надходить до перетворювача, а далі до аналогових модулів вводу SM 531.
3. За ПІ-законом регулювання обраховується регулюючий вплив.
4. Керуючий сигнал виходить через аналоговий модуль виводу SM 532.
5. Керуючий сигнал надходить на електропривід, який повертає регулюючий орган подачі газу в КЗ, змінюючи кількість обертів ТВТ.

3.5.2 Регулювання тиску масла ущільнення за допомогою шнекових насосів

1. Тиск вимірюється датчиком A-10-3-KG416-HD1Z-AA-AGZ-ZZ (діап. 0...1.6МПа).
2. Сигнал з датчику надходить до перетворювача AG2-55, а далі до аналогових модулів вводу SM 531.
3. За ПІ-законом регулювання обраховується регулюючий вплив.
4. Керуючий сигнал виходить через аналоговий модуль виводу SM 532.
5. Керуючий сигнал надходить на перетворювач частоти, який дає сигнал шнековому насосу таким чином змінюючи тиск.

3.5.3 Регулювання температури масла після маслоохолоджувачів

1. Температура вимірюється ТСП (діап. -50...+150 °С).
2. Сигнал з датчику надходить до аналогових модулів вводу SM 531.
3. За ПІ-законом регулювання обраховується регулюючий вплив.
4. Керуючий сигнал виходить через аналоговий модуль виводу SM 532.
5. Керуючий сигнал надходить на частотний перетворювач, який в залежності від необхідної керуючої дії збільшує, або зменшує частоту обертів вентиляторів (маслоохолоджувачів), змінюючи температуру масла в маслобаку.

Для забезпечення ручного управління процесом без використання процесора, регулюючі органи та виконавчі механізми передбачають засоби ручного керування.

В частотних перетворювачах передбачено блок керування, який розташовано на корпусі; з його допомогою відбувається ручне керування швидкістю обертання вентиляторів.

3.5.4 Опис супервізного рівня

В даній АСУ супервізорний рівень складається з однієї робочої станції управління. Вона призначена для відображення технологічного процесу, а також управління ним. Додатково SCADA-система повинна забезпечувати ведення архівів, звітів подій і тривоги.

В якості SCADA системи обрано WinCC. Вона призначена для розробки систем візуалізації. Містить всі стандартні галузеві функції сигналізації та підтвердження подій, архівування повідомлень і вимірювальних значень, адміністрування користувачів і т.д.

Отримання даних SCADA-системою відбувається за допомогою протоколу від ПЛК. За допомогою наперед заданих аргументів, SCADA система отримує інформацію з пам'яті контролера, та має можливість змінювати значення.

Графічна частина проекту складається з інтерфейсу операторської станції. Операторський інтерфейс включає мнемосхему технологічного процесу. На екрані є можливість переходу між вікнами, зміни режиму роботи. Це дозволяє оператору оглянути весь об'єкт загалом то отримати інформацію про події, отримати звіти та архівні дані. При використанні ручного режиму роботи є можливість ручного управління агрегатами системи.

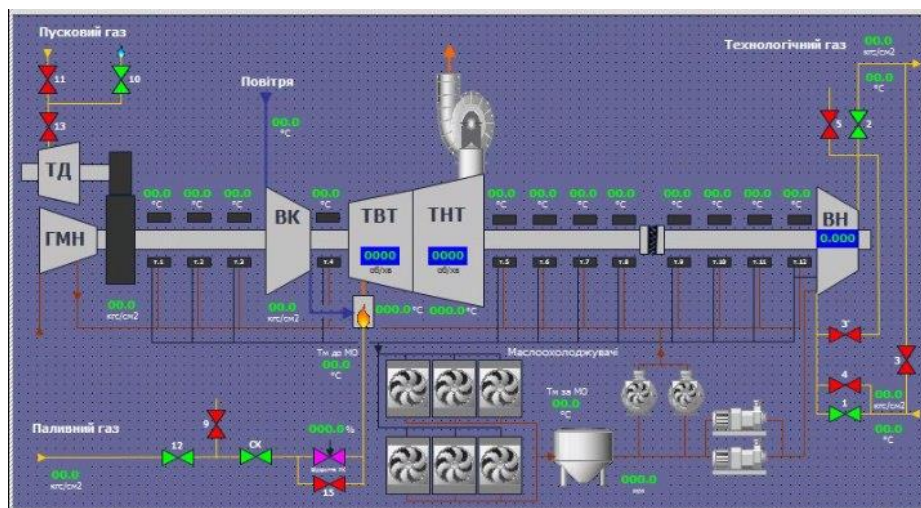


Рисунок 3.9. SCADA

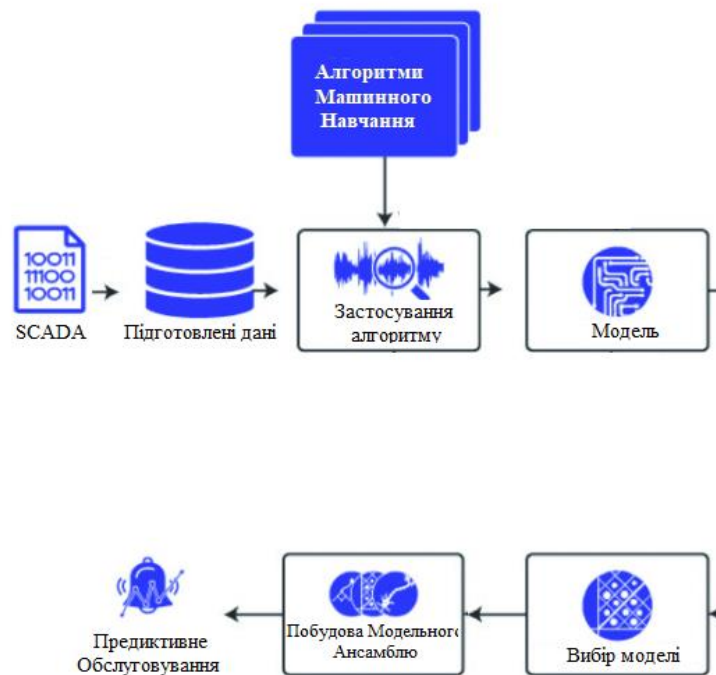


Рисунок 3.10. Схема інфраструктури

Далі зі SCADA дані потрапляють до хмари. Після цього застосовуються алгоритми машинного навчання які були описані у розділі 3.2. Далі отримуємо перелік моделей, з яких оберемо найбільш значимі. Це дозволяє виконувати функції предиктивного обслуговування.

Машинне навчання - це метод науки про дані, що дозволяє комп'ютерам використовувати існуючі дані для прогнозування майбутньої поведінки, результатів і тенденцій. Використовуючи машинне навчання, комп'ютери вчаться без явного програмування.

Прогнози або передбачення машинного навчання можуть зробити програми та пристрої розумнішими. Наприклад, коли ви робите покупки в Інтернеті, машинне навчання допомагає рекомендувати інші продукти, які можуть вам знадобитися, в залежності від того, що ви купили. Або, коли з вашої кредитної картки проводиться зчитування, машинне навчання порівнює транзакцію з базою даних транзакцій і допомагає виявляти шахрайство. А коли

ваш робот-пилосос пилососить кімнату, машинне навчання допомагає йому вирішити, чи виконана робота.

Для машинного навчання можна використати хмарний сервіс Azure розробників процесів машинного навчання. Один з інструментів це конструктор машинного навчання Azure: модулі drag-n-drop для побудови експериментів, а потім розгортання конвеєрів.

Студія машинного навчання Azure - це веб-портал у машинному навчанні Azure, де пропонуються варіанти з низьким кодом та без коду для навчання моделі, розгортання та управління активами. Студія інтегрується з Azure Machine Learning SDK для безперебійної роботи і використовуйте конструктор для навчання та розгортання моделей машинного навчання без написання коду.

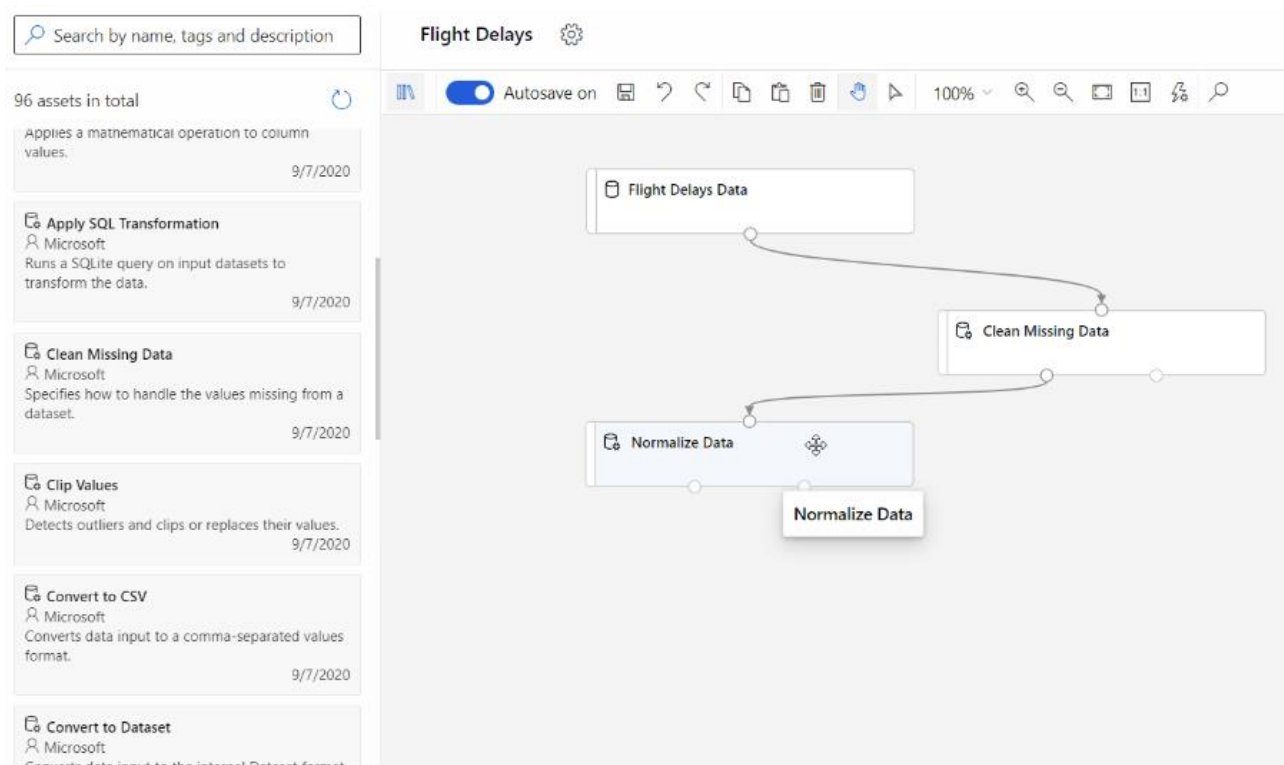


Рисунок 3.11. Дизайнер машинного навчання Azure

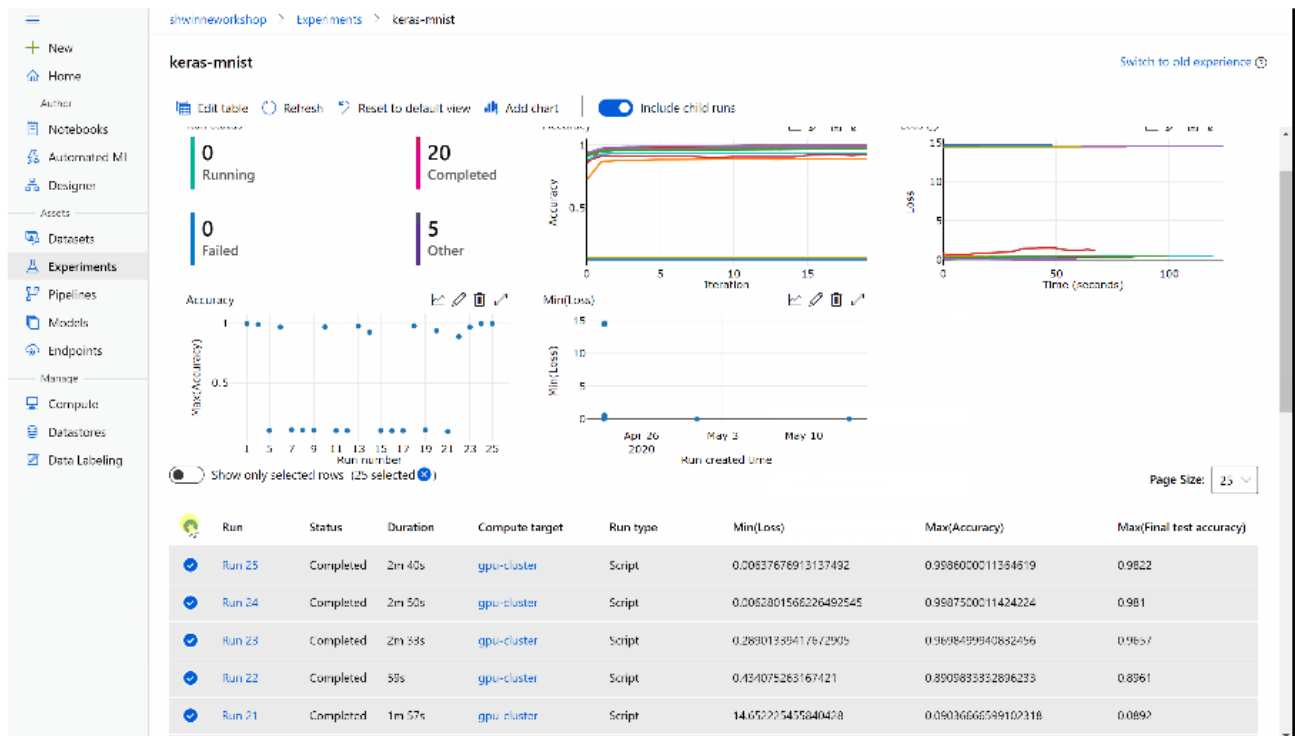


Рисунок 3.12. Відстеження експериментів

Однією з недооцінених переваг машинного навчання без нагляду є те, що воно є агностичним за допомогою машини чи датчика. Це означає, що ГПА може мати понад 8000 унікальних компонентів, починаючи від гідравлічних систем та перетворювачів потужності і закінчуючи захистом від падіння. Поки генеруються дані датчиків, алгоритм машинного навчання аналізує всі дані сигналу та виявляє ненормальні закономірності без урахування наступного:

- Вік активів. Алгоритм не диференціює, чи турбіні два або 15 років.
- Постачальник. Інформація про постачальника не має значення для роботи алгоритму. Таким чином, можна проаналізувати дані датчиків таких виробників: Acciona, Alstom, Dongfang, Enercon, Gamesa, GE Energy, Goldwind, Nordex, Repower, Siemens, Sinovel, Suzlon та Vestas. Зауважте, що і GE (Predix), і Siemens (MindSphere) також є головними гравцями на так званому ринку Digital Twin. Вплив полягає в тому, що єдине рішення

може бути застосовано до всіх типів турбін без необхідності використання декількох систем, що відповідають постачальникам.

- Частина або тип активу. Можуть бути проаналізовані всі дані датчиків з усіх наступних активів, включаючи лопатки, коробку передач, генератор, а також муфту та герметичність болтів.
- Алгоритм не проводить розмежування між офшорним та наземним розташуванням об'єктів.

4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

4.1.1 Інформаційна карта проекту

1. Назва проекту	Підвищення ефективності промислового обладнання методом PdM
2. Автори проекту	Рудь Кристина Костянтинівна
3. Коротка анотація <i>(не більше 1/3 сторінки)</i>	Не своєчасне обслуговування обладнання тягне за собою не тільки витрати на запчастини, також це зривання строків замовлень, великі організаційні витрати, втрата обсягів виробництва. Покладаючись на досвід фахівців, ведення графіків робіт і контроль витрат на запчастини не дають можливості вирішити цих проблем. Сучасні системи включають в себе сучасні методики та концепції, які дозволяють підвищити ефективність обслуговування обладнання. PdM (predictive maintenance, прогнозоване обслуговування) - вид обслуговування обладнання, заснований на діагностиці та контролі його стану. Сучасний підхід до обслуговування обладнання заснований на методології RCM, відповідно до якої метою обслуговування є не підтримка кожної одиниці обладнання в бездоганному стані (що вимагає

	невиправдано високих витрат), а забезпечення надійності критичних для діяльності підприємства виробничих і технологічних процесів.
--	--

4. Термін реалізації проекту	8 місяців
	<i>Тривалість проекту (в місяцях)</i>

5. Необхідні ресурси	Матеріальні: • Ноутбук – 40000 грн.
	Фінансові: • Програма Matlab – 54000 грн. • Оренда приміщення – 120 000 грн. • Консультація юриста – 30 000 грн. • Технічна документація до розроблюваної програми PdM -1250 грн.
	Інтелектуальні • Авторські права на програмний продукт – 2000 грн. на виробництво Всього: 247 250 грн
	<i>Перелік усіх необхідних ресурсів (фінансових, матеріальних інтелектуальних та ін.)</i>

6. Опис проблеми, яку вирішує проект	Проблема полягає у не своєчасному обслуговуванні обладнання, яке тягне за собою не тільки витрати на запчастини, також це зривання строків замовлень, великі організаційні витрати, втрата обсягів виробництва. Покладаючись на досвід фахівців, ведення графіків робіт і контроль витрат на запчастини не дають можливості вирішити цих проблем.
---	--

7. Головні цілі та завдання проекту	Ціллю проекту є створення програми, яка зменшить витрати на обслуговування обладнання, та забезпечить надійність критичних для діяльності підприємства виробничих і технологічних процесів. Для вирішення актуальної проблеми підвищення ефективності промислового обладнання поставлені наступні завдання: • Побудувати модель у Matlab; • Уточнити модель по експериментальним даним; • Додати завдання відмов; • Візуалізація стану.
--	--

8. Очікувані результати

(Описати позитивні зміни, які відбудуться в результаті реалізації проекту після його завершення та в довгостроковій перспективі)

Скорочення витрат: 25% рівень запасів, 20% матеріальні витрати на обслуговування обладнання, 10-30% витрати трудових ресурсів на обслуговування за рахунок більш точного планування, 10-50% переробки персоналу, 25-50% витрати на послуги сторонніх організацій за рахунок ефективного використання власних ресурсів, 30% збільшення продуктивності при виконанні робіт. Підвищення надійності: 20% ефективність використання обладнання, 30% тривалість простоїв через несвоєчасної поставки матеріалів, 30% тривалість простоїв для виконання аварійних робіт. В майбутньому хочемо застосовувати це рішення у ПоТ.

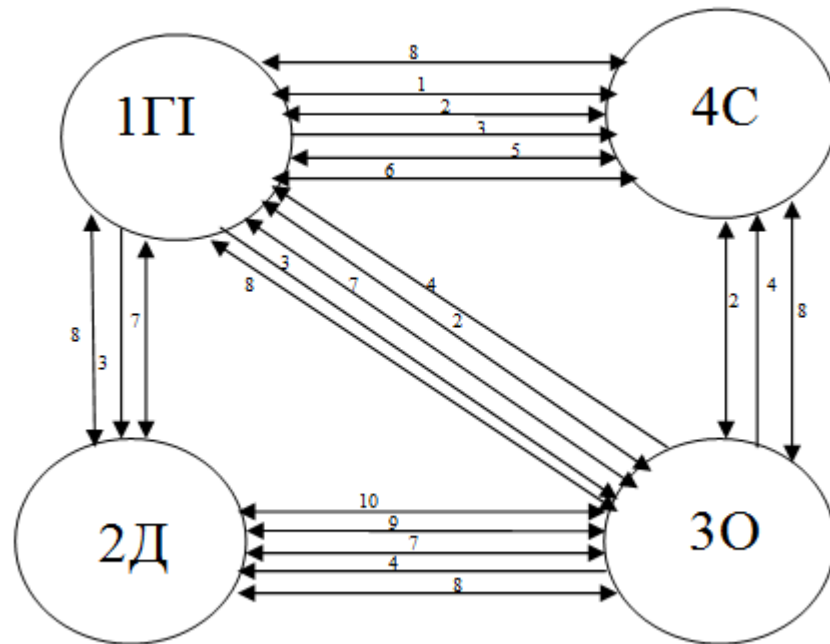
4.1.2 Формування команди стартапу

Спеціальність	Роль
Інженер	Генератор ідеї
Маркетолог	Дипломат
Проектний Менеджер	Організатор
ІТ-спеціаліст	Спеціаліст

Поставлені завдання та час на їх виконання

	Завдання	Час
1	Дослідження методів реалізації	0,5
2	Формування вимог	0,5
3	Видача Технічного завдання	0,5
4	Розподіл обов'язків	0,2
5	Розробка ПЗ	5
6	Тестування ПЗ	2
7	Пошук інвесторів	2
8	Юридичне забезпечення	2
9	Рекламна компанія	2,5
10	Аналітика	2,5

Граф розподілення завдань між учасниками команди



Розрахунок завантаженості учасників команди

Завантаженість = Вхід / Вихід

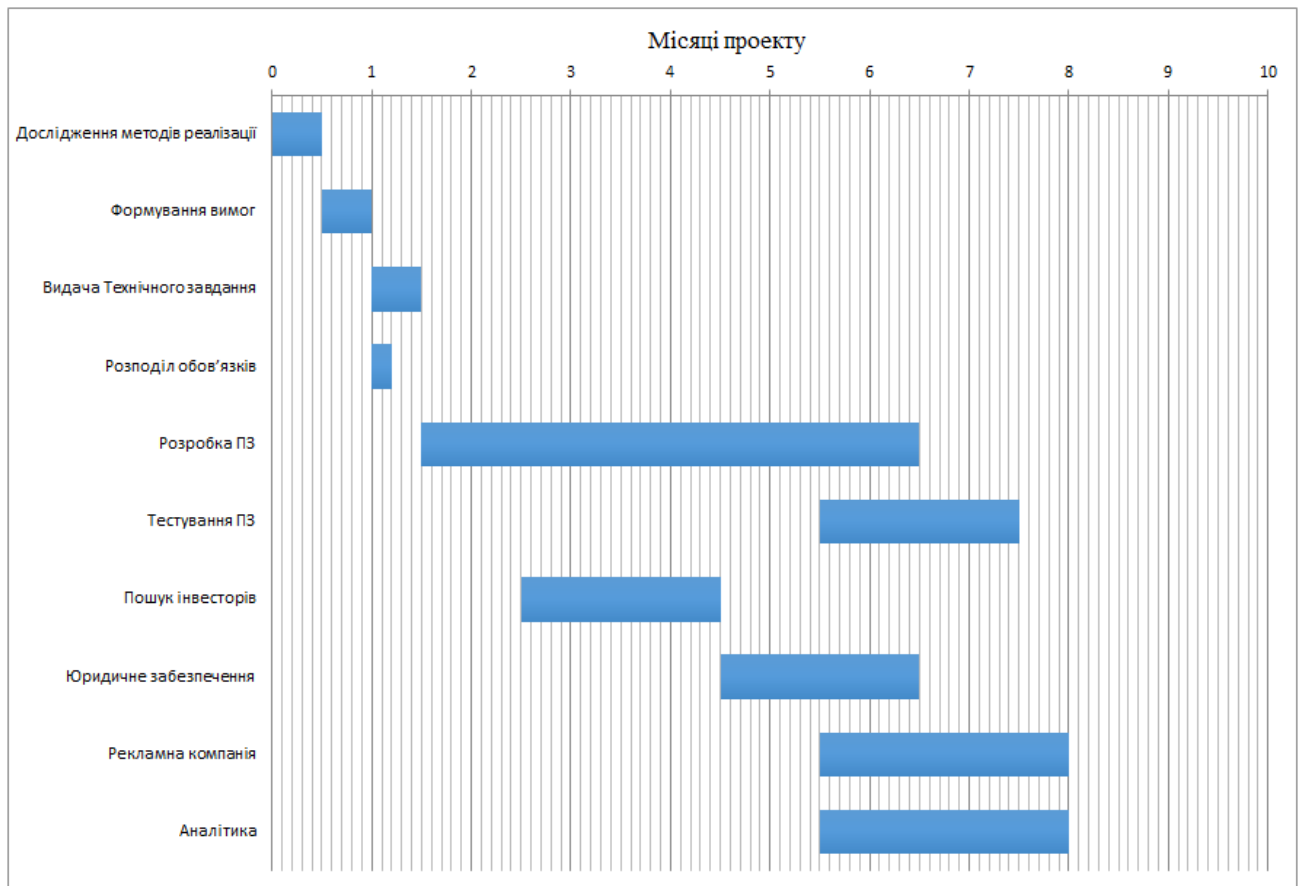
$$1ГІ = 11 / 13 = 0,84$$

$$2Д = 8 / 6 = 1,33$$

$$3О = 10 / 12 = 0,83$$

$$4С = 9 / 7 = 1,28$$

Графік розподілення часу



Завантаженість по часу кожного з учасників

$1ГІ = (0,25+0,1+0,5+2,5+0,5+1+0,1+0,1) / 8 = 0,63$	$1ГІ = 0,84 / 0,63 = 1,3$
$2Д = (2+2+2,5+2,5) / 8 = 1,1$	$2Д = 1,33 / 1,1 = 1,21$
$3О = (0,2+0,2+2+1+0,5+1,5) / 8 = 0,67$	$3О = 0,83 / 0,67 = 1,23$
$4С = (0,25+0,2+5+2+0,5) / 8 = 0,99$	$4С = 1,28 / 0,94 = 1,29$

Визначення важливості факторів щодо їх вкладу у створення та реалізацію стартапу

Фактор	Вага (важливість)
Ідея	5
Підготовка бізнес плану	8
Компетентність	9
Залученість і ризики	6
Обов'язки	7
Залучення партнерів	6

Оцінювання особистого внеску кожного партнера у створення та реалізацію стартапу

Фактор	Вага	Партнер 1ГІ	Партнер 2Д	Партнер 3О	Партнер 4С
Ідея	5	10	2	6	5
Підготовка бізнес плану	8	5	4	7	4
Компетентність	9	9	4	4	10
Залученість і ризики	6	5	4	6	6
Обов'язки	7	8	6	4	6
Залучення партнерів	6	4	5	6	2

Визначення дольової участі у стартап проекті кожного учасника

Фактор	Партнер 1ГІ	Партнер 2Д	Партнер 3О	Партнер 4С	
Ідея	50	20	60	50	
Підготовка бізнес плану	40	32	56	32	
Компетентність	81	36	32	90	
Залученість і ризиків	30	24	36	36	
Обов'язки	48	42	28	42	
Залучення партнерів	24	30	36	12	
Разом	273	184	248	262	967
Процент	28,2%	19%	25,6%	27%	100,0%

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

За допомогою використання морфологічних карт згенеруємо ідею системи, що буде виконувати специфічні обчислення математичних та логічних функцій, а також передбачувати системні збої приладів. Система повинна бути легкою в налаштуванні, кросплатформенною, мати можливість розширення, та мати адекватний розмір. Найважливішим показником, що показує корисність розроблюваної системи є значення затримки сигналів, що прискорюватиме швидкість виконання операцій.

Визначення основних функцій (їх можна визначити як за результатами наукових досліджень, так і суто інтуїтивно). У цьому випадку їх визначено за комбінацією названих методів:

- Прийнятне значення затримки сигналів – в межах 4-10 мс;
- Масштабованість сервісу повинна постійно збільшуватись
- Сервіс повинен підтримувати декілька платформ від 1 на початковому етапі до 30
- Прийнятний розмір споживання оперативної пам'яті в межах від 3500Мб до 6500Мб
- Швидкість обчислення 30-60с
- Кількість користувачів в один момент часу 10-500 осіб

Побудуємо морфологічну карту, на якій покажемо можливі варіанти рішень – засобів реалізації кожної функції.

Основні параметри	Проміжні рішення				
	1-ше	2-ге	3-тє	4-те	5-те
Споживання оперативної пам'яті	6500 Мб	5000 Мб	4500Мб	4000Мб	3500Мб
Підтримувані платформи	1	7	21	25	30
Розширення обладнання	3 шт.	9 шт.	12 шт.	18 шт.	21 шт.
Значення затримки сигналів	10мс	8мс	6мс	5мс	4мс
Швидкість обчислення	60с	50с	45с	40с	30с
Кількість користувачів в один момент часу	10	50	100	300	500

Таким чином, ідею нового продукту можна сформулювати так: Розробка програми для підвищення ефективності промислового обладнання, зі зменшеним часом передачі даних та своєчасним прогнозуванням несправностей.

Задум товару:

Товар за задумом. Розробка програми для підвищення ефективності промислового обладнання використовуючи метод PdM. Програмне забезпечення має відповідати певним параметрам, а саме: споживання оперативної пам'яті 3500 Mb; швидкість обчислення – 30с, затримка сигналів – 4мс, підтримка всіх 30 найпопулярніших платформ, мати можливість використовувати до 21 штук обладнання та надати можливість 500 користувачам одночасно працювати з програмним застосунком.

Товар у реальному виконанні. Програма, яка швидко передає та оброблює данні обладнання, щоб своєчасно спрогнозувати несправність, аварії; облік і аналіз простоїв. Програмне забезпечення має відповідати певним параметрам, а саме: споживання оперативної пам'яті 5000 Mb; швидкість обчислення – 50с, затримка сигналів – 6мс, підтримка всіх 7 найпопулярніших платформ, мати можливість використовувати до 12 штук обладнання та надати можливість 300 користувачам одночасно працювати з програмним застосунком.

Товар з підкріпленням. Розробка розширених бібліотек промислового обладнання або бібліотек під певну галузь.

Етапи еволюції захисту даних за методом MVP

Головна проблема: Питання підвищення ефективності промислового обладнання та зниження витрат на обслуговування обладнання залишається досить актуальним протягом усього періоду розвитку виробництва. Сьогодні наймогутніші корпорації світу працюють над цим.

1-й MVP: Ручна праця.

2-й MVP: Механізація виробництва.

3-й MVP: Масове виробництво.

4-й MVP: Автоматизація.

5-й MVP: Розумне підприємство.

Опрацювання питань для удосконалення продукту «PdM»

№ з/п	Запитання	Відповідь
1	Частиною яких систем є продукт?	Обчислювальних систем.
2	Які функції надсистеми може виконувати продукт? Як їх з ним пов'язати?	Для прогнозування зносу обладнання для використання в військовій сфері, авіації, та на підприємствах.
3	Чи можна розділити продукт на етапи?	Збір даних, обробка даних, прогнозування.
4	Чи можна об'єднати (агрегувати) кілька елементів продукту в один.	Ні.
5	Яким має бути ідеальний продукт?	Значення затримки сигналу 2мс.
6	Що відбудеться, якщо вилучити цей продукт? Чим його можна замінити?	Використання ПЗ компанії IT-Enterprise, КСК-Автоматизація.
7	Яким цей продукт був у минулому?	Мікропроцесори, мікроконтролери, математичне моделювання.
8	На розвиток яких функцій було спрямоване удосконалення продукту?	Продукт був спрямований на збільшення ефективності промислового обладнання

9	Які функції залишилися «недорозвиненими»?	Інтеграція у мобільний додаток
10	Як можна натеper розвинути ці функції?	Використовувати машинне навчання, нейронні сіті

Здійснюється відбір найцікавіших ідей і формується їх список.

Імовірно те що, розробники подібного забезпечення будуть штампувати такі програми, тому вони будуть схожі між собою. Ідеї які були раніше можна вважати безперспективними. Навіть у разі їх реалізації вони не додадуть конкурентних переваг. Оберемо справді актуальні ідеї для покращення програми PdM:

Ідея 1. Карти технічного обслуговування. Отримуємо можливість управління технічним обслуговуванням і ремонтами обладнання, а саме:

- переліком операцій;
- технологіями виконання операцій;
- заходами безпеки;
- залучаються фахівцями із зазначенням кваліфікації;
- матеріалами;
- інструментами;
- обладнанням;
- засобами захисту;
- контрольованими характеристиками.

Ідея 2. Облік і аналіз простоїв. Отримуємо можливість оптимізувати виробничі процеси шляхом скорочення простоїв, вибору оптимального графіка роботи і планування обслуговування з напрацювання шляхом аналізу коефіцієнта

технічної готовності (КТГ), коефіцієнта використання устаткування (КВО) і часу напрацювання устаткування.

Ідея 3. Розбір інцидентів. Отримуємо можливість за рахунок виконання аналізу аварійних ситуацій, розробки та контролю заходів щодо запобігання повторних аварій підвищити надійність обладнання, коефіцієнт технічної готовності обладнання та коефіцієнт загальної ефективності обладнання. Це призводить до збільшення загальної ефективності підприємства.

Ідея 4. Augmented reality (AR) можливості доповненої реальності. Для отримання даних за станом обладнання не потрібно бути біля пульта управління. Просто сканується QR-код, який можна розмістити безпосередньо на обладнанні, або у доступному місці біля нього.

Ідея 5. Мобільний додаток. Мобільний додаток для моніторингу стану обладнання на виробництві. При необхідності продукт може бути адаптований під потреби будь-якого замовника, а також галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Ідея 6. Управління персоналом. Отримуємо можливість ефективно планувати роботу персоналу шляхом контролю і аналізу завантаженості фахівців в розрізі періодів часу, підрозділів і робіт (заявок на ТОіР) і коректно встановлювати пріоритети завдань відповідно до їх трудомісткості.

Наступним кроком є *об'єднання знайдених ідей, їх агрегування або комбінування.*

Агрегування 1. Підвищення ефективності промислового обладнання за рахунок виконання аналізу аварійних ситуацій, розробки та контролю заходів щодо запобігання повторних аварій, а також оптимізація виробничих процесів шляхом скорочення простоїв та вибору оптимального графіку роботи і планування КВО.

Агрегування 2. Можливість ефективно планувати роботу персоналу, управління технічним обслуговуванням та ремонтами обладнання.

Агрегування 3. Мобільна версія додатка, та можливість отримання даних стану обладнання за допомогою сканування QR-коду.

Відбираємо найбільш працездатні ідеї, перевіряємо їх на своєчасність. Для цього необхідно за кожною з отриманих ідей відповісти на три запитання: що вийшло; де це можна використати; кому це потрібно.

Ідея 1. Карти технічного обслуговування:

- Створення карт технічного обслуговування з прив'язкою до моделі обладнання, які необхідні на виробництві для виконання всіх регламентних, профілактичних, аварійних та інших робіт для підтримання обладнання в справному стані
- Заповнення норм:
 - трудомісткості і кваліфікації фахівців
 - матеріалів
 - використовуваного інструменту
 - використовуваного обладнання
 - засобів захисту

Норми прописуються по кожній операції або по карті в цілому.

- При використанні карт технічного обслуговування в заявках ТОiP, система автоматично планує поопераційний план потреби ресурсів для виконання обслуговування.
- продукт може бути адаптований під потреби будь-якого замовника, а також галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Ідея 2. . Облік і аналіз простоїв:

- Облік аварійних, планових та позапланових простоїв

- Розрахунок КТГ, КВО та напрацювання обладнання
- Класифікація простоїв обладнання
- продукт може бути адаптований під потреби будь-якого замовника, а також галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Ідея 3. Розбір інцидентів:

- Проведення RCM-аналізу з розробкою заходів для запобігання повторних аварійних ситуацій на підприємстві
- Формування і зберігання актів розбору інцидентів і надання доступу всім користувачам системи до них.
- продукт може бути адаптований під потреби будь-якого замовника, а також галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Ідея 4. Augmented reality (AR) можливості доповненої реальності.

- Для отримання даних за станом обладнання не потрібно бути біля пульта управління, просто сканується QR-код, який можна розмістити безпосередньо на обладнанні, або у доступному місці біля нього.
- продукт може бути адаптований під потреби будь-якого замовника, а також галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Ідея 5. Мобільний додаток:

- зручне введення даних на місці і в момент виконання робіт
- вся необхідна інформація завжди під рукою
- контроль за виконанням завдань
- оперативний моніторинг ключових показників для керівництва

- продукт може бути адаптований під потреби будь-якого замовника, а також галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Ідея 6. Управління персоналом:

- Внесення плановою та фактичною трудомісткості робіт в заявках ТОіР по кожному фахівцю
- Автоматизоване формування трудомісткості по заявках ТОіР
- Формування звітів по завантаженості персоналу в різних розрізах.
- продукт може бути адаптований під потреби будь-якого замовника, а також галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Агрегування 1 Облік, розбір та аналіз.

- аналізу аварійних ситуацій
- розробка та контроль заходів щодо запобігання повторних аварій
- оптимізація виробничих процесів шляхом скорочення простоїв
- вибір оптимального графіку роботи і планування КВО
- покупець - великі підприємства, галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Агрегування 2 Управління.

- ефективне планування роботи персоналу
- управління технічним обслуговуванням
- управління ремонтами обладнання
- покупець - великі підприємства, галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Агрегування 3 Мобільність.

- мобільна версія додатка
- отримання даних стану обладнання за допомогою сканування QR-коду
- покупець - великі підприємства, галузі: хімічна промисловість, машинобудування, будівництво, нафтова, залізнична галузь, область енергетики та інші.

Надалі потрібно сформулювати та синхронізувати завдання.

Перелічимо знайдені нами рішення в тому порядку, у якому їх можна пропонувати ринку. Таким чином, у табл. наведено цілі організації на найближчі 5, 15, 25 років. Крім того, є план виведення на ринок нового продукту і його постійного відновлення. Якби було пройдено всі етапи ретельно, без пропусків, то одержали б стратегічний план розвитку продукту із щорічною програмою відновлення.

Маючи подібну програму, можна до кожного сезону пропонувати чергове нововведення. Як тільки конкуренти сприймуть таку ініціативу і почнуть тиражувати нововведення, можна виходити на ринок і пропонувати споживачам оновлений продукт, випереджаючи конкурентів.

Синхронізація завдань

<i>Етапи</i>	<i>Продукти (послідовність заміщення)</i>				
Минуле століття	MVP1 Ручна праця	MVP2 Механізація виробництва	MVP3 Масове виробництво	MVP4 Автоматизація	MVP5 Розумне підприємство
Сьогодні	MVP5 Розумне підприємство (PdM)	Ідея 2. Облік і аналіз простоїв	Ідея 3. Розбір інцидентів		
Завтра	Агрегування 1. Облік, розбір та аналіз	Ідея 1. Карти технічного обслуговування	Ідея 6. Управління персоналом		
Післязавтра	Агрегування 2. Управління	Ідея 5. Мобільний додаток	Ідея 4. Можливості доповненої реальності		
Програмне забезпечення «PdM» ХХІ століття	Агрегування 3. Мобільність				

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Існують альтернативні великі компанії- ІТ-Enterprise та КСК- Автоматизація	Буде пропонувати існуючим клієнтам кращі результати виконання	Буде використовувати мобільну версію програми	Стратегія заняття конкурентної ніші

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	IT-Enterprise КСК-Автоматизація
2	Загальний обсяг продаж, \$/ум.од	56 449\$ ум.од за 1 рік
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація IT компаній по стандартам \ ISO 9001 \ ISO 14001
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	36,6% Чистий прибуток/прибуток 20500\$/56000\$

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	1.Масштабованість 2.Швидке розгортання системи 3.Простота в керуванні	1.Машинобудуван ня 2.Підприємства 3.Нафтова галузь 4.Область енергетики	•Зменшена ціна •Легке налаштуванн я	•Спрощене налаштування програмного продукту •Масштабованіс ть

Фактори загроз

№ п/ п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Обмеженість функцій	Наявними функціями і не має деяких функцій, які мають конкуренти	Додавання нових функцій за потреби
2.	Несприятлива ситуація у країні	Девальвація валюти, автоматичне підвищення ціни у національній валюті.	Зменшення попиту, необхідні додаткові стимули для покупців.
3.	Кошти на розробку та підтримку продукту	Закінчення грошей та недостатнє фінансування	Залучення додаткових інвесторів, мотивація роботи на перспективу; Ітеративна розробка продукту задля покрокового виведення продукту на ринок та отримання відповіді користувачів

Фактори можливостей

№ п/ п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Вихід на міжнародний ринок	Товар відносно закордонних аналогів значно дешевший, що дозволить експортувати його на міжнародний ринок	Збільшення клієнтів
2.	Недоліки в існуючих альтернативах	Існуючі альтернативи не гнучкі в плані інтеграції, або не є орієнтованими на конкретну предметну область	Модифікація існуючих методів інтеграції
3.	Зворотній зв'язок від користувачів	Можливість отримання необхідної інформації для вдосконалення продукту	Наявність вхідних даних та реакція на них з боку команди розробників задля задоволення потреб та бажань кінцевих користувачів системи
4.	Прогресування	Збільшувати функціонал, згідно потреб клієнтів.	Збільшення клієнтів.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентно спроможною)
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	Декілька основних лідерів на ринку	Пропонування підтримка якості продукту та постійні нововведення, вдосконалення
2. За рівнем конкурентної боротьби - міжнародний	Компанії-конкуренти з інших країн	Створити основу програмного продукту таким чином, щоб можна було легко переробити даний продукт для використання у галузях інших країн
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Продукт може використовуватись для різних галузей	Постійне вдосконалення продукту, що не має прив'язки до сфери
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Дана конкуренція – конкуренція між товарами одного виду	Впровадження функціональності яка відсутня у товарів-

		замінників; Спрощення інтерфейсів; Надання підтримки.
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Вдосконалення технології створення продукту, щоб собівартість була нижчою	Удосконалення моделі. Використання більш дешевих технологій для розробки, ніж використовують конкуренти, але тільки якщо ці технології відповідають необхідним вимогам якості.
6. За інтенсивністю - марочна	Має власний бренд	Популяризація бренду

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	IT-Enterprise	КСК-Автоматизація	Визначити фактори сили в постачальників	Нафтогаз України	Система смарт-моніторинг у обладнання SCM
Висновки:	Конкурента боротьба досить інтенсивна, адже конкуренти є лідерами ринку багато років	Можливості виходу на ринок є через значно нижчу ціну за кращі технології	Постачальники підлаштовуються під ринок	Клієнти диктують вимоги згідно з умовами експлуатації	Обмеження для роботи на ринку через товари-замінники

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Технічна підтримка	Якщо технічна підтримка компанії буде працювати своєчасно та швидко, то це допоможе зберегти репутацію компанії на відміну від конкурентів, де їй не приділяють увагу
2.	Потреби споживачів	Потреби споживачів впливають на збільшення ефективності системи
3.	Результативність	Кінцевий результат
4.	Зручність	Система повинна бути зручною для введення та обробки інформації для того щоб не потребувати додаткового навчання персоналу
5.	Ціна та собівартість продукції	Конкурентоспроможна ціна

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «PdM»

№ п/ п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з IT- Enterprise						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Технічна підтримка	16				+			
2	Потреби споживачів	19						+	
3	Результативність	15						+	
4	Зручність	16					+		
5	Ціна та собівартість продукції	18				+			

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Можливість модифікації Швидкий економічний ефект	Слабкі сторони: Середній поріг входження на ринку, потрібна промо-кампанія
Можливості: Вихід на нові ринки	Загрози: Обмежена кількість клієнтів Поява зовнішніх конкурентів Банкрутство

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Проведення конференції для закордонних користувачів	30%	3-6 місяців
2	Пошук нових потенційних споживачів	20%	3 місяців
3	PR, просування бренду	50%	3 місяців

Після аналізу було обрано альтернативу №3.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Машинобудування	Середня(багато хто в цій галузі використовують продукти аналоги)	40% сегменту	Невисока (досить мала кількість компаній)	Легко(малий відсоток, які працюють в цій сфері)

Продовження таблиці «вибір цільових груп потенційних споживачів»

2.	Підприємства	Середня (багато хто в цій галузі використову ють продукти аналоги)	65% сегменту	Середня (є декілька компаній)	Середня (існують компанії, які мають схожі ПП)
3.	Нафтова галузь	Висока (більшість не мають програмного продукту)	70% сегменту	Середня (є декілька компаній)	Середня (існують компанії, які мають схожі ПП)
4.	Енергетична галузь	Середня(біль шість не мають програмного продукту)	60% сегменту	Середня (є декілька компаній)	Середня(іс нують компанії, які мають схожі ПП)
Які цільові групи обрано: Нафтова галузь, енергетична галузь					

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспромож ні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1.	Додати інші методи прогнозуванн я	Стратегія концентрованог о маркетингу	Точність, якість, дистанційне керування.	Стратегія спеціалізації

Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Спрощене налаштування програмного продукту	Стратегія спеціалізації	Швидке розгортання системи	· Підключення в один клік · Доступність для будь-яких користувачів · Кросплатформеність
2.	Масштабованість	Стратегія спеціалізації	Необмежена масштабованість системи	· Необмежена масштабованість · Висока відмовостійкість · Реконфігурація

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Масштабованість	Створення бібліотек	Необмежена масштабованість
2.	Швидке розгортання системи	Мобільний додаток	Кросплатформеність
3.	Простота в керуванні	Доступність новим користувачам	Наявність відео -інструкцій з усіма режимами та функціями

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Розробка програми для підвищення ефективності промислового обладнання використовуючи метод PdM		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Споживання оперативної пам'яті	Нм	Тх/ Тл
	2.Підтримувані платформи		
	3.Розширення обладнання	М	Тх/ Тл
	4.Значення затримки сигналів	Нм	Вр/Тх /Тл
	5.Швидкість обчислення		
	6.Кількість користувачів в один момент часу	М	Вр/Тх/ Тл
		М	Вр/Тх/ Тл
	Пакування: файл формату SLX		

	Марка: Christie & Co.
III. Товар із підкріпленням	До продажу: наявна повна документація
	Після продажу: додаткова підтримка спеціалістів налаштування, підтримка з боку розробника
За рахунок оформлення патенту потенційний товар буде захищено від копіювання	

Висновки: За задумом проект забезпечує підвищення ефективності промислового обладнання використовуючи метод PdM. До продажу клієнти мають прочитати документацію. За рахунок патенту товар буде захищено від копіювання.

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	15 000\$	30000\$ - 50 000₴	57 000₴	10 000₴-15000₴

Висновки: Проаналізувавши рівень цін на товари-замінники (близько 15000\$), товари-аналоги (близько 30000-80000\$) та рівень доходів цільової групи споживачів (близько 57000\$) було встановлено нижню 10000\$ та верхню 15000\$ межі встановлення ціни на товар, що дає перевагу над конкурентами.

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Усі види клієнтів будуть купувати продукт безпосередньо у компанії-розробника	· Аналіз ринку · Технологічний прогрес · Надання можливості завантаження додатку · Надання необхідної інформації · Технічна підтримка	0 Канал нульового рівня (виробник безпосередньо продає товар клієнту)	Через сайт виробника

Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Клієнти дізнаються про товар на наукових конференціях, виставках технічних товарів, хакатонах.	Інтернет; ЗМІ (телевізійний маркетинг)	Підвищення надійності обладнання та зниження витрат на його обслуговування	Продемонструвати можливість користування програмою, та показати перспективи користування	Рекламне звернення спрямовано до потенційних клієнтів, де показуються плюси користування системою

Виробничий план

Мета: довести можливості ефективного організаційного та ресурсного забезпечення проекту; продемонструвати, що запропоновані організаційні рішення дозволять ефективно реалізувати стартап-проект.

Календарний план-графік реалізації стартап-проекту

№ з/п	Етапи реалізації	Період реалізації проекту						
		0-й рік ¹				1-й рік	2-й рік	3-й рік
		1-й кв.	2-й кв.	3-й кв.	4-й кв.			
1.	Проведення НДДКР	+	+	+				
2.	Розробка проектних матеріалів і ТЕО		+	+				
3.	Робоче проектування і прив'язка проекту			+	+			
4.	Створення компанії			+	+			
5.	Придбання нематеріальних активів, отримання дозвільних документів тощо				+	+		
6.	придбання й оренда земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	+						
7.	Придбання обладнання, устаткування та пристроїв	+						

8.	Передвиробничі маркетингові дослідження		+	+				
9.	Приймально-здавальні випробування				+			
10.	Освоєння проектних потужностей		+	+	+			
11.	Придбання матеріальних ресурсів			+	+	+		
12.	Запуск виробництва				+	+		
13.	Продаж продукції					+	+	+

Планова потреба у виробничих площах

№ з/п	Тип приміщення (будівлі, ділянки, споруди)	Кількість одиниць	Площа, кв. м	Вимоги до приміщення (будівлі, ділянки, споруди)	Умови надання	Вартість, тис. грн.
1.	Офісне приміщення	1	64 кв.м	Освітлення, температурний режим відповідно до норм ДСТУ	Оренда	10 000 грн
Разом за рік				—	—	120 000 грн

Планова потреба у виробничому обладнанні та устаткуванні

<i>№ з/п</i>	<i>Вид обладнання (устаткування, пристрою)</i>	<i>Тип (модель)</i>	<i>Виробник обладнання (устаткування, пристрою)</i>	<i>Терміни постачання</i>	<i>Вартість, тис. грн.</i>
1.	Комп'ютер	ZBook 14u G6	HP	1 тиждень	40 грн
<i>Разом:</i>		—	—	—	40 грн

Планова вартість нематеріальних активів

<i>№ з/ п</i>	<i>Вид активів</i>	<i>Активи, що можуть бути віднесені до даного виду</i>	<i>Вартість , тис. грн.</i>
1.	Права користування майном	право на оренду приміщень	120 грн
2.	Права на комерційні позначення	(права на торговельні марки (знаки для товарів і послуг), комерційні (фірмові) найменування тощо)	10 грн
3.	Авторське право та суміжні з ним права	(право на літературні, художні, музичні твори, комп'ютерні програми, фонограми, відеограми, передачі (програми) тощо)	2 грн

Планова потреба та витрати на персонал

№ з/п	Категорія персоналу	Чисел ь- ність	Заробітн а плата, грн. на місяць	Відрахува ння на соціальні заходи, грн. на місяць	Витрати на оплату праці за період, грн.		
					1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Спеціаліст	1	15 319 грн	6 357 грн	183 828	367 656	551 484
2.	Дипломат	1	10 780 грн	4 473 грн	129 360	258 720	388 080
3.	Організатор	1	14 524 грн	6 027 грн	174 288	348 576	522 864
4.	Генератор ідей	1	16 000 грн	6 640 грн	192 000	384 000	576 000
Разом:			58 000 грн	11 310 грн	679 476	1,358 952	2,038 428

Загальні початкові витрати проекту

<i>№ з/п</i>	<i>Стаття витрат</i>	<i>Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.</i>
1.	Проведення НДДКР	15
2.	Розробка проектних матеріалів і ТЕО	50
3.	Робоче проектування і прив'язка проекту	30
4.	Витрати на придбання й оренду земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	120
5.	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	100
6.	Витрати на приймально-здавальні випробування	10
7.	Комплексне освоєння проектних потужностей	15
8.	Витрати на придбання нематеріальних активів	20
9.	Одноразові виплати, зокрема гарантуючим і страховим організаціям	20
10.	Витрати на створення оборотного капіталу, необхідного для початку операційної діяльності (створення виробничих запасів, передоплата сировини, матеріалів і комплектуючих виробів, які мають бути поставлені на початку операційної діяльності)	40

<i>№ з/п</i>	<i>Стаття витрат</i>	<i>Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.</i>
11.	Податкові платежі (земельний, комунальний та інші), здійснені до початку операційної діяльності	50
12.	Оплата юридичних послуг	30
13.	Витрати на передвиробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	25
14.	Витрати, пов'язані з діяльністю персоналу	35
	<i>Разом</i>	<i>560 грн</i>

Планові загальногосподарські витрати

<i>№ з/п</i>	<i>Стаття витрат</i>	<i>Витрати за період, тис. грн.</i>		
		<i>1-й рік</i>	<i>2-й рік</i>	<i>3-й рік</i>
1.	Витрати на оренду земельних ділянок, будівель, приміщень, споруд	180	250	400
2.	Витрати на обладнання, устаткування та пристрої	100	200	400
3.	Витрати на придбання нематеріальних активів	15	50	70
4.	Витрати на персонал (на відрядження, соціальні заходи тощо)	25	35	60

5.	Витрати на зв'язок	40	60	70
6.	Витрати на паливо та електроенергію	24	28	30
7.	Витрати на водопостачання	10	15	17
8.	Витрати на утримання обладнання та приміщень	50	75	100
9.	Витрати на збут	20	30	40
10.	Витрати на просування та рекламу	30	50	80
11.	Оплата юридичних послуг	30	50	70
12.	Податкові платежі (земельний, комунальний податки, інші)	20	37	45
<i>Разом:</i>		544	880	1 452
		грн	грн	грн

Інвестиційне забезпечення

Витрати на період розробки стартапу та 1й рік продажу - 65000\$

Вартість одиниці продукту - 13000\$

Собівартість одиниці продукту - 3000\$

Кількість проданого продукту за 1й рік - 20шт.

Коефіцієнт окупності розраховується за формулою:

$$ROI = \frac{(\text{дохід} - \text{витрати})}{\text{витрати}} \cdot 100\%$$

$$ROI = \frac{(13000\$ \cdot 20\text{шт.} - 65000\$)}{65000\$} \cdot 100\% = 300\%$$

Кожний вкладений долар повертається та приносить ще 3\$

Точка беззбитковості розраховується за формулою:

$$ТБ = \frac{(\text{витрати})}{(\text{вартість одиниці продукту} - \text{собівартість одиниці продукту})}$$

$$ТБ = \frac{65000\$}{13000\$ - 3000\$} = 6,5$$

Щоб окупити, необхідно продати 6 одиниць продукту.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації була представлена та розроблена система автоматизованого збору та обробки вібросигналів газоперекачувального агрегату ГТК-10, яка аналізує дані зі SCADA які потрапляють до хмари. Після цього застосовуються алгоритми машинного навчання для того щоб своєчасно виявити несправності газоперекачувального агрегату ГТК-10 за допомогою датчиків вібрації підшипників.

В даній роботі були отримані такі результати:

1. Розроблена інфраструктура прогнозування несправностей на основі віброаналізу
2. Використані бездротові датчики вібрації
3. Запропоновані методи вилучення особливостей вібрації
4. Запропоновані методи машинного навчання NARX, ANFIS
5. Запропонована архітектура Azure Machine Learning

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Перетворення Фур'є і класичний цифровий спектральний аналіз [Електронний ресурс]: Режим доступу: https://www.vibration.ru/preobraz_fur.shtml
2. Едмундо Г. де Соуза і Сільва, Луїс Ф.Л. Легей та Едмундо А. де Соуза і Сільва (2010). Прогнозування динаміки цін на нафту за допомогою вейвлетів та прихованих марковських моделей. Економіка енергетики, вип. 32, С. 1507–1519.
3. Грапс, А. (1995). Вступ до вейвлетів. IEEE Computational Science and Engineering, вип. 2, № 2, pp. 50–61.
4. Р. Д. Паттерсон, К. Робінсон, Дж. Холдсворт, Д. Мак-Кін, К. Джанг та М. Х. Аллерхенд (1992). Складні звуки та слухові образи. Слухова фізіологія та сприйняття, Proc. 9-й Міжнародний симпозіум зі слуху, Пергамон, Оксфорд, с. 123-177.
5. С. Сенефф (1988). Спільна модель синхронії / середньої швидкості обробки слухового мовлення. Журнал фонетики, вип. 16, No 1, с. 55-76.
6. Т. Лін, Б. Г. Хорн, П. Тіно та Ч. Л. Джайлз (1997). Алгоритм вибору моделі пошкодження затримки для нейронних мереж NARX. Транзакції IEEE з обробки сигналів, вип. 45, №. 11, с. 2719–2730.
7. Урош Лотрік та Андрій Добнікар (2005). Прогнозування часових рядів за допомогою нейронних мереж з вейвлет-деноізуючими шарами. Нейронні обчислення та програми, вип. 14, с. 11–17.
8. Е. Цвікер та Х. Фастл (2009). Психоакустика – факти та Моделі. Springer 2-е видання.
9. Застосування обладнання фірми "ІНКОТЕС" для контролю технічного стану газоперекачувальних агрегатів [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.encotes.ru/node/63>

10. Лейсі С. Дж. Огляд аналізу вібрації підшипника. 2008. № 23. С. 32-33.
11. А.Б. Шабаров, В.В. Шалай, Ю.Д. Земенков, К.А. Акулов, С.М. Чекардовский. Обладнання та експлуатація газотурбінних установок [Електронний ресурс]: Режим доступу: http://elib.tyuiu.ru/wp-content/uploads/2015/09/12_50.pdf
12. Петрухін В.В., Петрухін С.В. Основи вібродіагностики та засоби вимірювання вібрації. Москва, 2010. 30 с
13. 10.4 Вібрація турбоагрегату //Сайт присвячений атомним станціям URL: <http://www.aes.pp.ua/46.php>(дата звернення 22.11.2019).
14. Лейсі С. Дж. Огляд аналізу вібрації підшипника. 2008. № 23. С. 32-33.
15. PdM - предиктивне обслуговування обладнання [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/pdm>
16. RCM II - обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності обладнання [Електронний ресурс]: Режим доступу <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/reliability-centered-maintenance-rcm-ii>
17. І. Айдін, М. Каракосе та Е. Акін. «Штучна імунна підтримка векторний машинний алгоритм для діагностики несправностей асинхронних двигунів». 2007 Міжнародна егейська конференція з електричних машин і Енергетична електроніка, вересень 2007 р.
18. Б. Саманта, “Виявлення несправностей передач із використанням штучних нейронних мереж та підтримка векторних машин з генетичними алгоритмами”, Механічні системи та обробка сигналів, вип. 18, випуск 3, с. 625-644, 2004.
19. Ю. Фуцин, У. Кумар, Д. Галар, “Порівняльне дослідження штучних нейронних мереж та опорних векторних машин для діагностики

несправностей”. Міжнародний журнал техніки продуктивності, вип. 9, № 1, с.49-60, 2013.

20. Ерік Беххофер, Стів Кларк та Девід Хе (2010). Модель простору станів для вібраційної прогностики. Щорічна конференція Товариства прогностики та управління здоров'ям, 10-16 жовтня, Портленд, штат Орегон, США.