

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АВТОМАТИКИ ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

Кафедра Електричної інженерії та електроніки

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

«Інтелектуальна діагностика технічного стану
суднових дизель-генераторів»

Виконав: студент 6 курсу

спеціальності 271 Морський та внутрішній водний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

Сергій КОНОВАЛОВ

(підпис, прізвище та ініціали)

допущений до захисту 15.12.2023

(дата малого захисту)

Завідуючий кафедрою Микола МУХА

(підпис, прізвище та ініціали)

Керівник Ігор МАЛЯВІН

(підпис, прізвище та ініціали)

Нормоконтролер Ігор МАЛЯВІН

(підпис, прізвище та ініціали)

Рецензент Владислав В.С.

(підпис, прізвище та ініціали)

Одеса 2023

сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

15.03.20 16.12.2023

файлу з підписом: ДИПЛОМ Коновалов_остаточний.docx.p7s

файлу з підписом: 2.4 МБ

файли:

файлу без підпису: ДИПЛОМ Коновалов_остаточний.docx

файлу без підпису: 2.3 МБ

результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних

КОНОВАЛОВ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

КОНОВАЛОВ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

Україна

ID: 5E984D52232

тип (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

час (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 10:05:34

виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

ідентифікатор: 5E984D526F82F38F04000000C7973701E66DA504

алгоритм підпису: DSTU-4145

рівень: Удосконалений

місце: Підпис та дані в CMS-файлі (CADES)

формат: 3 повними даними ЦСК для перевірки (CADES-X Long)

рівень: Кваліфікований

генератор: ...

Матеріал ...

... 2023 року № 2004

... 2023 року № 2004

... 2023 року № 2004

... 1700 Тел: ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

... 120 ...

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»
Науково-навчальний інститут автоматики та електромеханіки

Кафедра Електричної інженерії та електроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 271 Морський та внутрішній водний транспорт

**Спеціалізація 271.03 Експлуатація суднового електрообладнання і засобів
автоматики**

Затверджую
Зав. кафедрою С. Коновалов
„ 01 ” „ 11 ” 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Коновалов Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи **«Інтелектуальна діагностика технічного стану
дизель-генераторів»**

Виконав роботи **Малявін Ігор Павлович, к.т.н., доцент**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Виконано наказом по академії від „ 12 ” грудня 2023 року № 2004

Згідно з наказом по академії від „ 12 ” грудня 2023 року № 2004

Вихідні дані до роботи: судно контейнеровоз місткістю 1700 TEU; три
дизель-генератори фірми Hyundai типу HFC потужністю 1600 кВт, та один аварійний
дизель-генератор потужністю 120 кВт; суднова система моніторингу K-Chief 600 фірми

Kongsberg.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають
дослідженню): аналіз умов експлуатації дизель – генераторів, паливної системи,
системи охолодження; розробка математичної моделі системи діагностики;
розробка нечіткої системи прогнозу імовірності аварій; імітаційне моделювання
дослідження ефективності інтелектуальної системи інтелектуальної

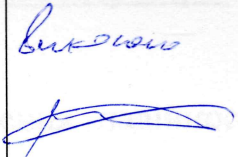
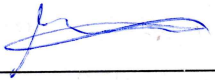
діагностики.
5. Перелік графічного матеріалу (з точними вказівками обов'язкових креслень).
Презентація зі слайдами які відображають актуальність роботи, мету, наукову
цінність та етапи моделювання.

Дата видачі завдання: 07.11.23 р.

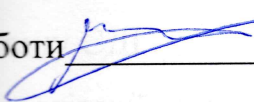
Виконав: Малявін Ігор Малявін

Завдання прийняв до виконання Сергій Коновалов

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ зп	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА	8.10 – 15.10	виконано 
2	АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І ЗАВДАННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ АГРЕГАТІВ	15.10- 1.11	виконано 
3	РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ	1.11 – 23.11	виконано 
4	РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА	23.11 – 8.12.2023	виконано 

Курсант-дипломник _____ Сергій КОНОВАЛОВ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Ігор МАЛЯВІН

РЕФЕРАТ

У роботі було проведено дослідження методів та алгоритмів технічної діагностики параметрів судових дизель-генераторів та їх підсистем.

Було запропоновано інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень оператора судових систем моніторингу для діагностики показників роботи контрольних параметрів судових дизель-генераторів. Проаналізовано вимоги до умов експлуатації судових технічних систем та засобів діагностики.

Здійснено вибір наукового спрямування у галузі розробки інтелектуальних систем діагностики. Розглянуто тенденції у сфері створення нечітких експертних систем.

Розроблено програмну модель нечіткої експертної системи визначення технічного стану обладнання дизель-генераторів за допомогою програми Fuzzy Logic Toolbox пакету Matlab.

СУДОВИЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР, ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА, НЕЧІТКА
ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА

Abstract

In the work, a study of methods and algorithms for technical diagnostics of parameters of ship diesel generators and their subsystems was carried out.

An intelligent decision-making support system for the operator of ship monitoring systems was proposed for the diagnosis of operation indicators of the control parameters of ship diesel generators. The requirements for the operating conditions of forensic technical systems and diagnostic tools have been analyzed.

The choice of a scientific direction in the field of development of intelligent diagnostic systems was made. Trends in the creation of fuzzy expert systems are considered.

A software model of a fuzzy expert system for determining the technical condition of diesel generator equipment using the Fuzzy Logic Toolbox program of the Matlab package has been developed.

MARINE DIESEL GENERATOR, TECHNICAL DIAGNOSTICS, FUZZY EXPERT
SYSTEM

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1.ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТА КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА.	12
2.АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І ЗАВДАННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ АГРЕГАТІВ	15
3.РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ.....	25
4. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА.....	48
ВИСНОВКИ.....	56
Список використаної літератури.....	57

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

СДГ – судновий дизель-генератор,

САУ -система автоматичного управління,

СЕУ – суднова енергетична установка,

СЕС – суднова електростанція,

СППР – система підтримки прийняття рішень,

ССМ - суднова система моніторингу,

ЦПУ - центральний посту управління,

НЕС – нечітка експертна система.

ВСТУП

Аналіз процесів експлуатації суднових енергетичних установок показує, що найчастіше відмова обладнання пов'язані з дизельними агрегатами головних і допоміжних установок. При цьому 60 – 90% всіх відмов припадає на дизелі і допоміжні системи, що їх обслуговують [1]. З представленого обсягу від 15 до 25% припадало на судові дизель-генератори [2].

У зв'язку з цим аналіз сучасних наукових методів та алгоритмів діагностики параметрів СДГ є актуальним науковим завданням. В даний час у суднових системах контролю та моніторингу агрегатів СЕУ, зокрема компанії Kongsberg, використовується значна кількість спеціальних програмних засобів контролю та виведення повідомлень про аварійні ситуації [3]. Разом з тим, практика показує, що необхідно вдосконалення існуючих та розробка нових практичних методів, які б забезпечували більш ефективний контроль та прогноз можливих ризиків виходу з ладу обладнання СДГ.

Одним із можливих наукових напрямів, що сприяють підвищенню якості процесів контролю та діагностики технічного стану СДГ, можна вважати запровадження експертних систем, зокрема працюючих на основі теорії нечіткої логіки [4]. Дані експертні системи успішно зарекомендували себе під час діагностики широкого ряду технічних систем. Головною відмінністю даних інтелектуальних систем є використання досвіду, знань та інтуїції експертів (технічних фахівців із ремонту та обслуговування СДГ).

Сучасні суди, експлуатовані в судохідних компаніях, оснащені електронними засобами захисту парових агрегатів СЕУ та оповіщення офіцерів суден. Ведучими світовими компаніями, що рекомендують себе на світовому флоті, є: Kongsberg, Autronica, Doctor Diesel та інші, що виробляють технологічне обладнання для систем моніторингу та діагностики контролюючих параметрів судових систем. На підставі вищевикладеного тему роботи можна *вважати актуальною*.

Метою роботи є розробка нечіткої експертної системи діагностики технічного стану СДГ.

Завдання дослідження:

- провести огляд відомих рішень що спрямовані на вирішення задач підвищення ефективності процесів діагностики параметрів СДГ.
- провести аналіз роботи ключових технологічних параметрів механічної та електричної частини СДГ;
- розробити нечеткую математичну модель об'єкта діагностики з допомогою експертних методів.
- провести моделювання запропонованої інтелектуальної системи діагностики параметрів СГД

Об'єкт дослідження. Робочі процеси та контрольовані параметри СДГ

Гіпотеза дослідження полягає у припущенні, що впровадження інтелектуальної системи діагностики параметрів СДГ може дозволити підвищити надійності роботи агрегатів СЕС та знизити кількість аварійних ситуацій.

Предмет дослідження. Математичні моделі та алгоритми системи нечіткого виведення в експертних системах технічної діагностики суднових агрегатів.

Методи дослідження. Під час виконання магістерської роботи використані: методи розробки нечітких експертних систем; алгоритм І. Мамдані; методи комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- розроблена нечітка експертна система оцінки технічного стану дизеля, система використовує алгоритм Мамдані та дозволяє з високим ступенем точності оцінити стан роботи дизеля.
- розроблено нечітку експертну систему оцінок технічного стану роботи синхронного генератора. Система використовує досвід та знання електромеханіків і дозволяє оцінити ступінь працездатності суднового генератора.

Отримані результати можуть застосовуватися на морських судах у процесі експлуатації СГД, що доказує практичну цінність.

Особистий внесок здобувача. Створено програму інтелектуальної діагностики параметрів СДГ для систем моніторингу у ЦПУ.

Апробація результатів. Результати роботи було розглянуто на міжнародній науково-технічній конференції «СУДНОВА ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА І АВТОМАТИКА» (СЕІЕА-2023); НУ «ОМА» – 2023. У роботі «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА».

РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ СУДНА, ГОЛОВНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ, ДОПОМІЖНИХ МЕХАНІЗМІВ І СИСТЕМ



Рисунок 1.1 – Від судна «MSC»

Дальність плавання – 16000 миль. Район плавання – необмежений.

На судні є каюти для розміщення 20 членів екіпажу.

Рятувальні шлюпки розташовані з лівого та правого боку на рівні Б палуби місткістю до 20 персон.

Судно має клас автоматизації – А1.

Загальні характеристики:

Загальна довжина	:	216. m
Ширина лиття	:	28.20 m
глибина формування	:	16.70 m
Маса легкого судна	:	11478 MT
Міжнародний валовий тоннаж	:	25220
Швидкість обслуговування (нормальний вихід)	:	21.0 knots
Основна потужність двигуна / обороти	:	NC 17404 KW / 94.6 RPM
ємність контейнера	:	1700 TEU
кількість трюмів	:	5
Кількість люкових кришок	:	26
Тип люкових кришок	:	Lift Away Type
Потужність паливного бака	:	3622 m3
Ємність дизельного масла	:	821 m3
Ємність масляного бака Lub	:	222.7 m3
Ємність баластного водяного бака	:	9557 m3
Ємність бака для прісної води	:	275.4 m3
Кіль до найвищої точки	:	50.98m
Укладання кіля	:	23/03/1998

1.2.1 Енергетична установка.

Головний двигун.	
Модель HYUNDAI SULZER 7RTA72U-B	MC 21560kw x 88rpm NCR 17404kw x 92.6rpm
Кількість циліндрів 7	Тип топлива RMG
Витрата	3942,69 кг / год
Головний двигун	Производитель Hyundai Heavy Industries Co.Ltd.
Тип передачіна гребний вал	пряма.
Керування двигуном	із ходової рубки, ЦПУ, місцевого поста управління

1.2.2. Котельна установка.

Марка	KANGRIM
Тип	AUTOMATIC FORCED DRAFT,CYLINDRICAL
Потужність	1200/1500 Kg/h x 0.4 MPa.
Тиск	0.4 Мра

Генератор	
Марка	Hyundai Heavy Industries
Тип	HFC5 6
Електроживлення	2133.3kVA 1600kW
Первичний двигун	
Марка	Hyundai
Тип	HYUNDAI –MAN B&W 8L28/32H
Вихідні дані	1710 kW X 720RPM
Споживальний витр	333.429 kg/h

Аварійний генератор	
Марка	STAMFORD
Тип	UCM 274 H
Електроживлення	3 phase 450V, 120KW
Первичний двигун	
Марка	Demp a/s danish engineering and marine power
Тип	MAN,
Вих	120 kW

1.3. Допоміжні механізми і системи.

Головний повітряний компресор	
Марка	SPERRE Industri
Тип	WATER COOLED
Продуктивність	170 m3/h

(Баластний насос) Ballast Pump	
Марка	TAIKINDUSTRIES
Тип	EM
Продуктивність	540 m3/h

Bow Thruster	
Марка	KAWASAKI
Тип	KT – 130B
Діаметр винта	2000 mm (skewed type) x 4 blades
Вих потужність	1100 kw

Підрулюючий пристрій має потужність 1100 кВт, запускається через автотрансформатор.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І ЗАВДАННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СУДНОВИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ АГРЕГАТІВ

2.1 Огляд сучасного стану засобів та методів суднової діагностики

Діагностика є важливою складовою діяльності із забезпечення безпеки та ефективності технічної експлуатації флоту.

Головне призначення сучасного діагностування полягає у безперервному автоматичному контролі технічного стану об'єкта, своєчасному виявленні відхилень контрольованих параметрів від нормативних значень, ідентифікації та локалізації дефектів, виробленні стратегії подальших дій та прогнозування ресурсу. Системи автоматичного контролю та діагностування створюються на базі нових інформаційно-обчислювальних засобів, програмна частина яких спирається на фундаментальні та прикладні математичні методи [1].

Основним завданням діагностування суднових об'єктів є визначення їхнього технічного стану. З нею пов'язані завдання порівняльної оцінки поточного технічного стану з деяким еталонним (повністю нормальним, відповідним номінальним паспортним характеристикам) та подальшого висновку про допустимість подальшої експлуатації об'єкта, терміни та режими експлуатації або про характер необхідного ремонту.

Операції технічного діагностування проводяться без будь-якого демонтажу (розбирання) об'єкта — це є принциповою ознакою методу. У цьому полягає й сенс технічної діагностики: правильне застосування ефективної діагностичної системи знизить кількість аварій і відмов і подовжить міжремонтні періоди експлуатації, забезпечуючи призначення ремонтів по фактичній необхідності в них.

Метод технічного діагностування дизелів полягає в систематичному визначенні всіх параметрів, що характеризують режим навантаження, зовнішні умови, що застосовуються паливо і олії, перебіг робочого процесу, технічного

стану навантажених вузлів і деталей і функціонування обслуговуючих систем. На відміну від автоматизованого контролю діагностичної системи містить у собі пристрій для автоматизованого аналізу всієї інформації, що збирається, за спеціально розробленим правилом.

Результат аналізу видається пристроєм у простому випадку у вигляді сигналу про нормальний або ненормальний технічний стан дизеля. Більш складні системи відзначають причину ненормальності, ступінь її аварійної небезпеки, допустимий час роботи дизеля в режимі навантаження.

Основне, що відрізняє діагностичної системи від звичайної системи автоматизованого технічного контролю - це високий рівень оснащення дизеля та його систем різного роду індикаторами (датчиками) як у кількісному, так і в якісному відношеннях. Найважливішою складовою діагностичної системи є пристрій, який збирає та систематизує інформацію про поточний технічний стан дизеля, а також порівнює її з аналогічною інформацією, що відповідає нормальній роботі на подібному режимі навантаження нового дизеля [2].

Номінальні (еталонні) значення параметрів та їх певних сукупностей (кореляційних функцій) мають бути визначені з урахуванням можливої зміни зовнішніх умов, застосовуваних сортів палива та масел та режимів навантаження дизеля. Відповідні зміни цих значень повинні бути представлені в табличному або графічному вигляді і введені в пам'ять аналізуючого пристрою діагностичної системи.

Основними ознаками надійності діагностичної системи є адекватність та стійка відтворюваність всіх результатів її дії. Ресурс надійної роботи діагностичної системи (або окремих її частин) може бути значно меншим, ніж ресурс об'єкта. Значний внесок у інструментальне забезпечення діагностичної системи (індикатори робочого процесу та технічного стану дизелів) зроблено спеціалізованими західноєвропейськими, особливо скандинавськими, фірмами (АСЕА, Аутроніка, Норконтрол) [3].

Вирішенням завдань моніторингу контрольованих параметрів агрегатів СЕУ сьогодні займаються виробники суднових двигунів внутрішнього згорання

(СДВС) та спеціалізовані фірми. Так, найбільший виробник суднових дизелів MANB&WDiesel розробив систему комп'ютерного діагностування CoCoSEDS [4]. Програмний пакет розроблений таким чином, що через стандартний інтерфейс дозволяє здійснювати інтегрування із системою централізованого контролю моніторингу головного двигуна. Розроблена комп'ютерна система отримує дані про роботу двигуна, проводить їх аналіз та оцінює його технічний стан. У системі передбачено можливість зберігання даних про режими нормальної роботи дизеля, а також вбудована база експертних даних. Все це дозволяє не тільки робити висновок про відхилення від нормального функціонування, але і здійснювати рекомендації з експлуатації дизеля. Програмні пакети FAKS2i та Moni Trend (Data Analysing System) випускає компанія Wartsila [5]. Алгоритм роботи програми FAKS2i в деяких аспектах аналогічний CoCoSEDS. Дані в систему надходять безпосередньо із системи централізованого контролю та моніторингу. Для оцінки технічного стану використовується база експертних даних.

Пакет MoniTrend проводить аналіз даних, які отримують із системи централізованого контролю та моніторингу, і в режимі реального часу виявляє тренд. У продуктах компаній MANB&WDiesel та Wartsila передбачений дистанційний доступ, на основі сучасних веб-технологій, таких як Java та XML. Це забезпечує доступ до бази даних у будь-якому місці в межах мережі судна. Діагностична система CEDC фірми «Зульцер» призначена для діагностування циліндропоршневої групи, паливної апаратури, турбокомпресорів та систем СДВС. У разі зміни контрольованих параметрів здійснюється аналіз тенденцій їх зміни в часі та визначається необхідний для ремонту відповідного вузла або механізму термін.

При появі ймовірності поломки деталі або вузла відбувається спрацювання сигналізації, що є попередженням досягнення граничного значення параметра. Завдяки подібній системі щоразу виконуються ті роботи, які необхідні підтримки характеристик дизеля на заданому рівні.

На тлі все більших вимог до безпеки судноплавства та зростання конкуренції в морській галузі стає актуальним завдання зниження ймовірності прийняття

неправильного або економічно невиправданого рішення під час експлуатації суднової енергетичної установки. Значною мірою завдання може бути вирішена впровадженням на цих судах універсальних СППР, які на підставі інформації, що надходить до системи, виробляють рекомендації, пов'язані з проведенням експлуатаційних заходів або з вибором режимів роботи головних і допоміжних двигунів. Запропоноване системою рішення може збігатися з рішенням самого механіка, що вказує на більшу вірогідність прийнятого рішення. Може не збігатися, що змусить механіка вкотре проаналізувати ситуацію та знайти додаткові аргументи на користь свого рішення чи рішення, запропонованого СППР. І в тому, і в іншому випадку спільна робота людини.

Класифікацію методів діагностики технічного стану суднового дизеля представлено на рис. 2.1

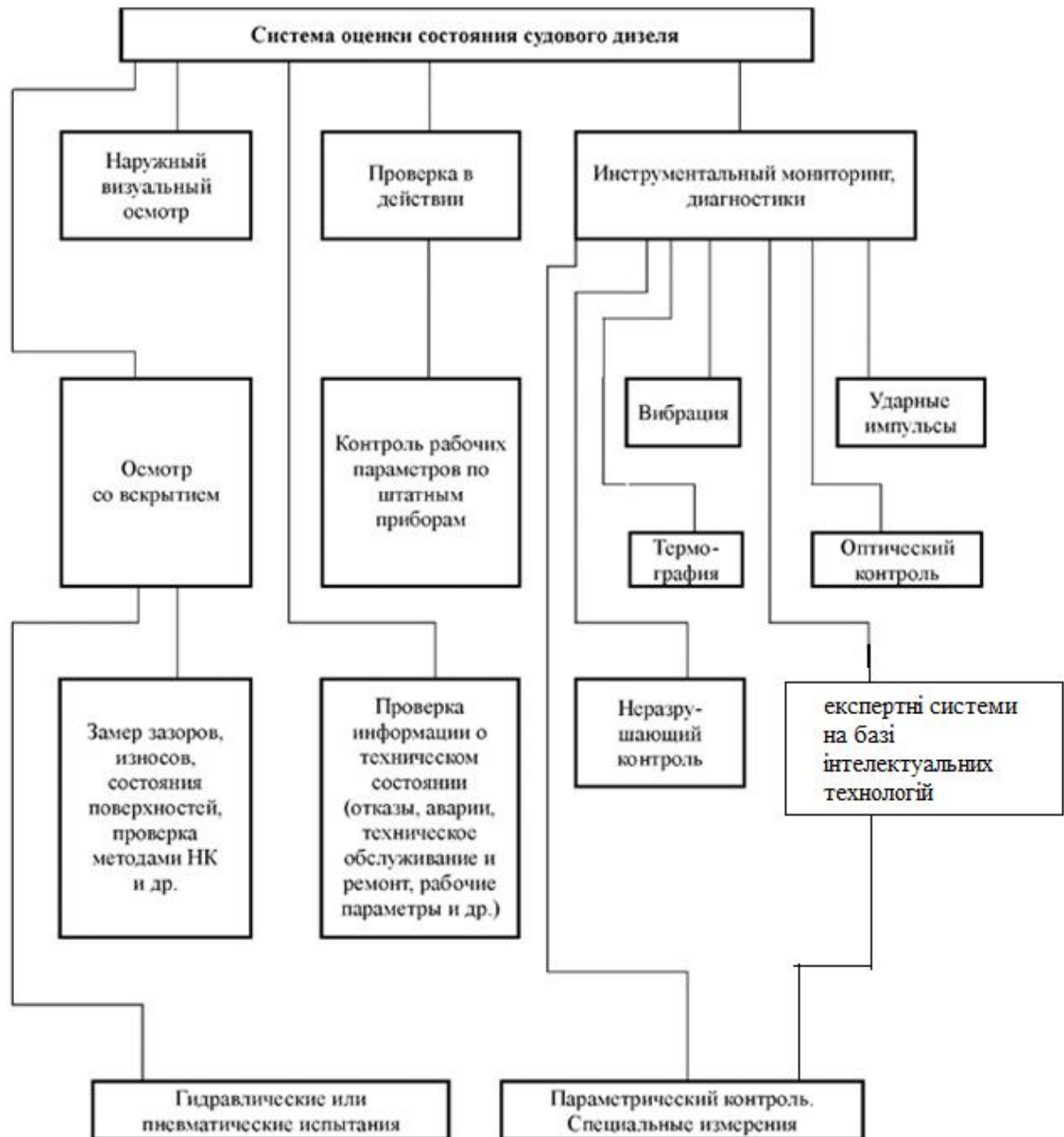


Рисунок 2.1 - Методы диагностики судового дизельного агрегату

Виходячи з інструкцій з експлуатації СГД, досвіду обслуговування та наукових публікацій у галузі діагностики СДГ [6] було складено таблицю ключових параметрів механічної частини СГД марки Hyundai з двигуном марки MAN B&W 8L28/32H (табл.2.1).

Таблиця 2.1
Параметри СДГ фірми Hyundai

Параметри	Межі роботи параметрів
Тиск попереднього мастила ДГ	не нижче 0,12 бар
Тиск пускового повітря	не нижче 15 бар
Тиск води контуру низької температури	не нижче X+0,4 бар
Тиск води контуру високої температури	не нижче X+0,4 бар
Тиск мастила ДГ	не нижче 3,5 бар
Тиск палива (MDO)	не нижче 1,0 бар
Тиск палива (HFO)	не нижче 3,0 бар
Різниця тиску виходу та входу у фільтрі мастила ДГ	не більше 1,5 бар
Температура води контуру високої температури	не більше 90 ° C
Температура мастила ДГ	не більше 80 ° C
Температура вихлопних газів після турбокомпресора	не більше 450 ° C
Температура вихлопних газів до турбокомпресора	не більше 570 ° C
Різниця температури вихлопних газів щодо встановленої	не більше $\pm 50^{\circ}\text{C}$
Низький тиск мастила турбокомпресора	не менше 0,9 бар

Розрізняють тестове діагностування (рисунок 2.2 а, б), характерною особливістю якого є подача на об'єкт спеціально організованих тестових впливів (ТБ) від засобів діагностування та аналіз відповідних реакцій (Р), та функціональне діагностування (рисунок 2.2 в, г), при якому подача тестових впливів на об'єкт від

засобів діагностування проводиться, надходять лише робочі дії (РВ), передбачені алгоритмом функціонування об'єкта, та вимірюються параметри робочих (основних та супутніх) процесів (РП). У загальному випадку тестове, функціональне та функціонально-тестове (рисунок 2.2 д, е) діагностування може виконуватися як на працюючому (функціонуючому), так і непрацюючому об'єкті. Природно, що при працюючому об'єкті допускаються тільки такі тестові впливи (рисунок 2.2 б, е), які не впливають на правильність його функціонування, а при використанні функціонального діагностування на непрацюючому об'єкті (рис. 2.2, д) передбачаються імітація його функціонування - подача імітованих робочих впливів (ІРВ) та вимірювання параметрів (ІРП), що не спотворюють фізичну картину явищ. Пристрої для імітації функціонування може бути як у складі об'єкта, і у складі засобів діагностування.

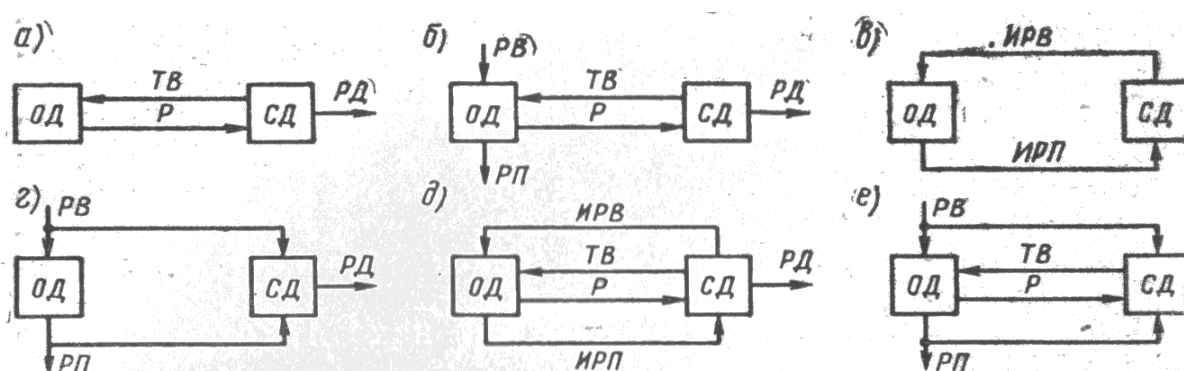


Рисунок 2.2 – Основные схемы систем диагностирования судовой техники

Впливи, що подаються на об'єкт, та реакції об'єкта на ці впливи, що несуть інформацію про його технічний стан, можуть поширюватися спеціально організованими каналами передачі сигналів (для цілей функціонування об'єкта відповідно до робочого алгоритму або виключно з метою діагностики), а також неорганізованими каналами через матеріал елементів конструкції об'єкта, робочі середовища, зв'язки.

2.3. СУДНОВА СИСТЕМА ЦЕНТРОЛІЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВИХ АГРЕГАТІВ "Norcontrol"

Основу CCM Data chief (рис.2.3.) складають блоки двох типів: **OCP 8800** – клавіатура та одночасно пульт управління; **SAU 8800** – блок збору та обробки інформації. Ці блоки виконані у формі мікроЕОМ. Кожен блок **SAU** по суті є ПЛК, що контролює 32 параметри та здатної функціонувати як у складі системи, так і автономно. Число таких блоків, що включаються до системи, визначається кількістю контрольованих параметрів і може досягати 10. Зв'язок блоків **SAU** з панеллю управління **OCP 8800** здійснюється за стандартним інтерфейсом CL ("струмова петля"). Прийом та обробка сигналів від датчиків параметрів, зіставлення їх із уставками, формування тимчасових затримок, тобто. основний обсяг функцій CCM виконується безпосередньо у блоках **SAU**.

Блок **OCP**, розташований у центральному посту управління (ЦПУ) енергетичної установки, забезпечує виведення інформації оператору та дистанційне керування блоками **SAU**. Результати контролю відображаються на моніторі, реєструються принтером. Блок **OCP** забезпечує формування тривожних світлового та звукового сигналів у машинному відділенні, а також узагальнені тривожні сигнали, що надходять на ходовий місток судна та блоки узагальненої сигналізації БОС, розташовані в каютах механіків та в інших суднових приміщеннях.

Структурна схема блоку **SAU 8800** дано на рис. 2.4. Основу блоку становить 16-розрядний мікропроцесор **МП** типу 8088. У мікросхемах пам'яті типу **EPROM** зберігається керуюча програма. Пам'ять типу **EEPROM** служить зберігання параметрів, змінюваних у процесі експлуатації – уставок, конфігурації **SAU** (тобто які датчики яких каналів підключені), параметрів каналів тощо. Пам'ять типу **RAM** служить зберігання даних, одержуваних у роботі **SAU**.

На кожен тип датчика використовується власний адаптер, виконаний на окремій платі. Максимальне їхнє число – 32. Розроблена фірмою номенклатура адаптерів дозволяє використовувати такі аналогові датчики, як термопари (типу **NiCr/Ni**),

платинові терморезистори (типів **Pt100, Pt50**), датчики інших типів, що формують уніфіковані аналогові сигнали в діапазоні 0...10 В, 0 ...5 і т.д., а також датчики дискретної дії (**ON/OFF**), що формують логічні сигнали рівнів **TTL** або до 24 В. Сигнали з адаптерів аналогових датчиків перетворюються в **АЦП** в цифровий 12-розрядний код [9].

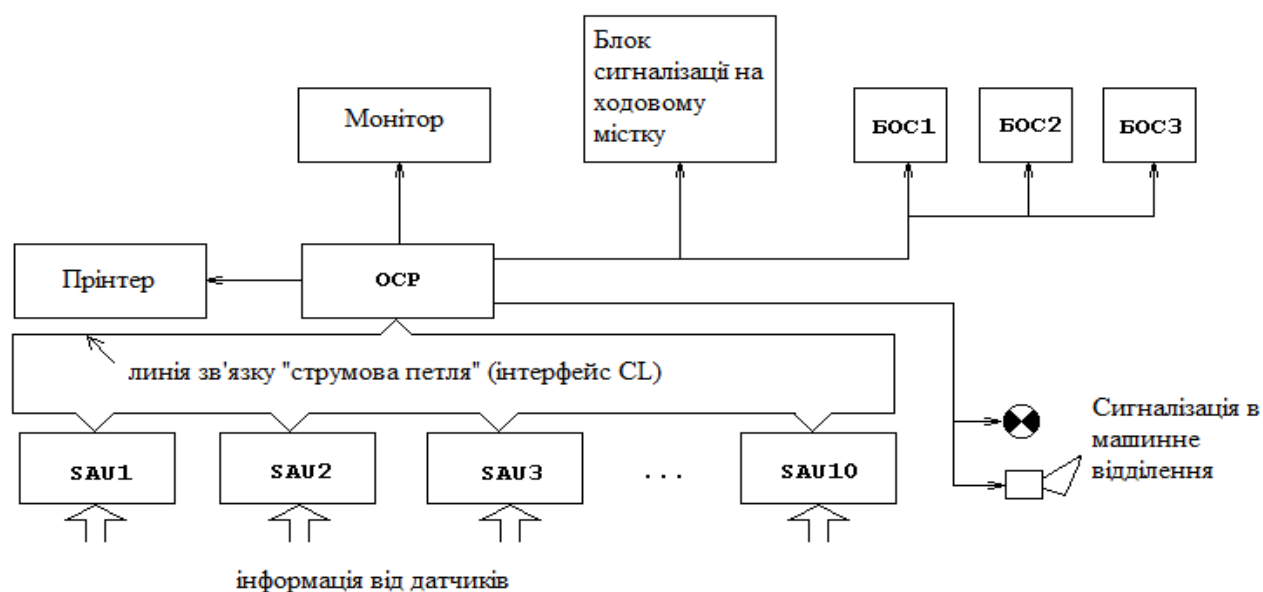


Рисунок2.3. - Структурна схема локального контролю параметрів CEУ "Datachief"

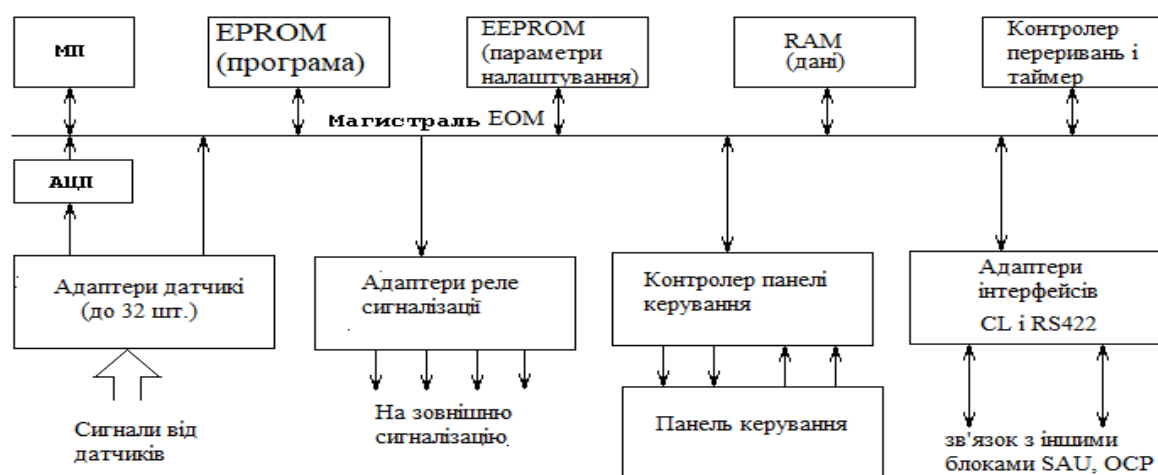


Рисунок 2.4.- Структурна схема блока SAU8800

При автономному використанні блоку **SAU** ним формується кілька сигналів для керування зовнішньою сигналізацією, за допомогою адаптерів, що управляють спрацьовуванням вбудованих блок реле.

Панель керування містить індивідуальні світлові індикатори кожного каналу (світлодіоди – **LED**), що засвічуються при досягненні уставки, цифрові індикатори для виведення значень параметрів і уставок та індикації несправності, а також органи управління у вигляді кнопок. Управління панеллю здійснюється через окремий контролер.

Зв'язок з іншими блоками **SAU** забезпечується адаптером послідовного інтерфейсу **CL**, що має два канали, основний та додатковий. Є також два додаткові адаптери інтерфейсу **RS-422**.

Контролер переривань та таймер задають періодичність введення та обробки сигналів датчиків, оновлення інформації, що виводиться на панель управління, а також швидкість передачі даних за послідовними інтерфейсами.

Блок **SAU** має убудовані засоби самоконтролю, реалізовані у вигляді спеціальних програм. Якщо виявлено несправність, на індикаторі **SAU** висвічується код несправності, вихідні сигнали призводять до безпечного рівня, включається спеціальне реле. Якщо порушується зв'язок з іншими блоками **SAU**, автоматично здійснюється перехід в автономний режим роботи. Окремою програмою перевіряється справність всіх оптичних приладів індикації на панелі керування. Вона запускається в роботу окремою кнопкою.

Мікросхеми **EPROM, EEPROM, RAM**, а також деякі інші встановлені в контактних панельках (сокетах) та в експлуатації можуть бути оперативно замінені.

Конструктивно ССМ може бути виконана у вигляді відокремленої, функціонуючої самостійно системи, як і представлено. Проте типовою є ситуація, коли побудована з урахуванням ПЛК інтегрована (вбудована) у систему комплексної автоматизації СЕУ. Тобто є однією із її підсистем автоматики. При цьому конкретна прогнмовані логічні контролери (ПЛК) системи комплексної автоматизації може одночасно вирішувати як завдання

централізованого контролю, так і інші завдання, наприклад—керування обладнанням. Так, розглянута у цьому розділі "*Datachief-7 midi*" є однією з підсистем мікропроцесорної системи управління "*Data chief-7*", що розглядається нижче, а фактично її виродженням до мінімуму варіантом, що виконує лише функції локального контролю і управління. На панелі монітору (сервера) оператор бачить мнемосхеми технологічних процесів суднових установок (рис. 2.5.)

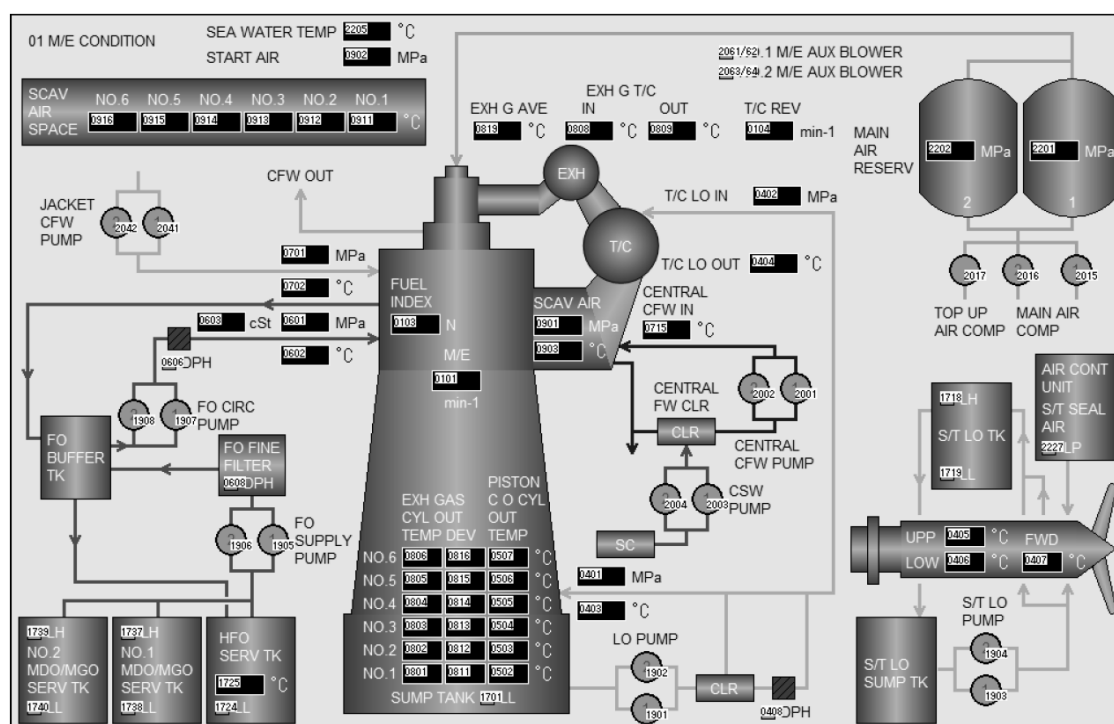


Рисунок 2.5. – Мнемосхема головного двигуна на моніторі ССМ у ЦПУ

Розширена версія ССМ із функціями централізованого контролю всіх суднових агрегатів представлена на рис. 2.6. Система побудована на основі декількох типів блоків, спеціалізованих під розв'язувані задачі [9]:

- **SAU (signal acquisition unit)** – блок збору та обробки інформації;
- **GCU (generator control unit)** – блок управління дизель-генератором;
- **PCU (programmable controller unit)** – блок управління допоміжними механізмами, регулювання параметрів – температури, тиску тощо;
- **LGU (level gauging unit)** – блок вимірювання рівнів рідин у цистернах, вантажних танках;

- **ОСР (operator control panel)** – панель управління системи;
- **SPU (signal processing unit)** – центральний блок системи.

Блоки **SAU**, **GCU**, **PCU**, **LGU** виконують роль головних ПЛК. Їхні структурні схеми практично однакові. Один із цих блоків (**SAU**) докладно розглянутий раніше. Відмінність між блоками полягає лише в наборі адаптерів, у конфігурації їх панелей управління та у вмісті керуючої програми.

Блок **SPU** виконує функцію головного комп'ютера. Він складається з 8 ПЛК, кожна з яких виконана на основі мікропроцесора 8086 та запрограмована під своє завдання.

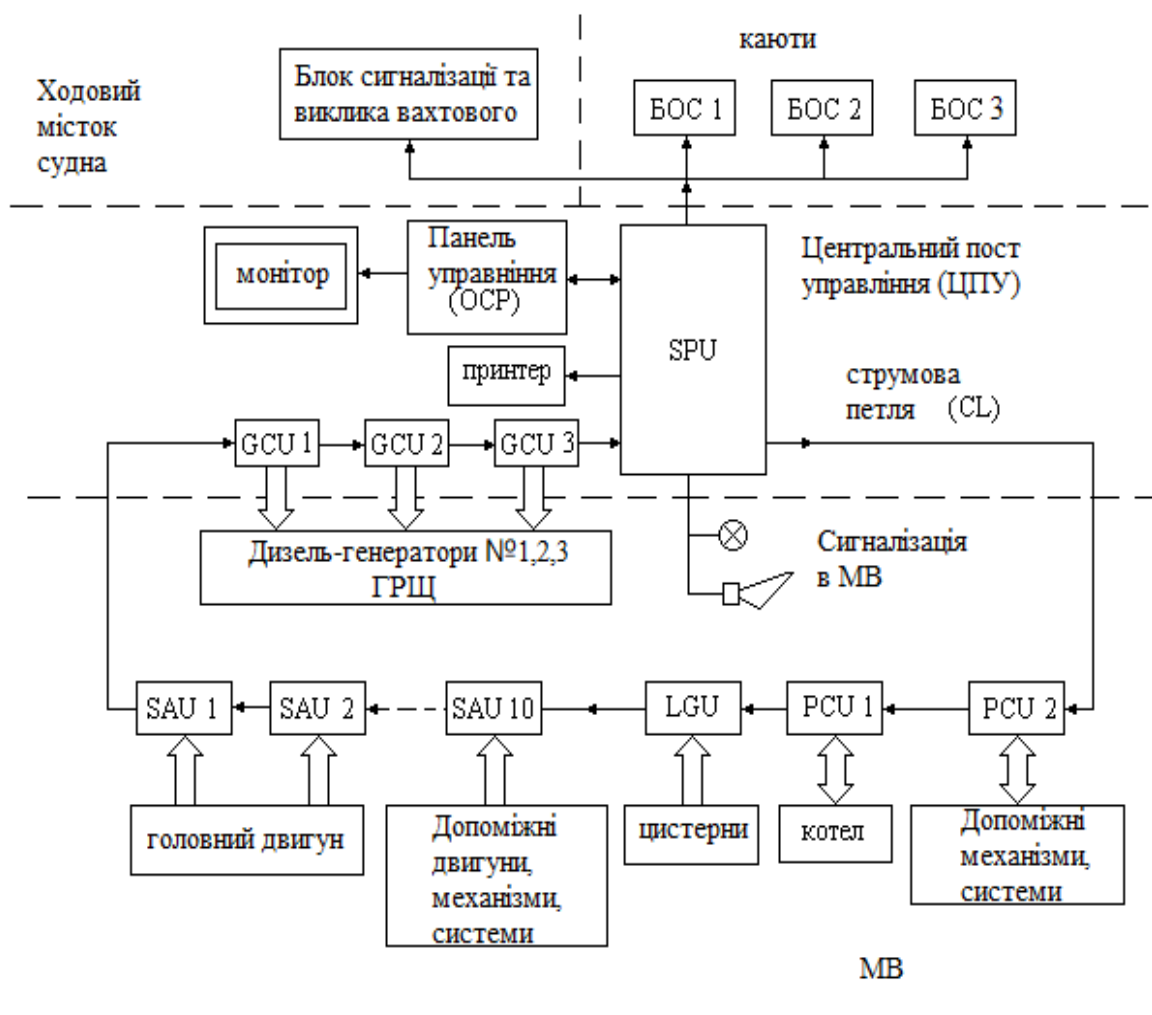


Рисунок 2.6. - Загальна структурна схема КІСУ "Datachief-7"

Блок **SPU** забезпечує зв'язок системи з людиною через пристрої введення-виведення інформації: графічний або алфавітно-цифровий монітор, панель керування типу **OCP**, принтер. Панель управління **OCP** виконана у формі спеціалізованої клавіатури та за внутрішньою побудовою є мікроЕОМ, структурна схема якої близька до схеми блоку **SAU**. Панель керування, монітор та принтер утворюють пост керування системи. Таких постів може бути до чотирьох (на рис. 1 показано один).

Передача інформації між керуючими ПЛК та ПК у ЦПУ здійснюється по лінії зв'язку типу струмова петля. Для забезпечення функцій сигналізації до складу КІСУ включені блоки узагальненої сигналізації та виклику вахтового (БУС), блок сигналізації та виклику вахтового механіка на містку, засоби сигналізації у машинному відділенні.

2.3 Підсистема контролю та діагностики параметрів СГД

Система РРМ-3 виконана на уніфікованих елементах та забезпечує виконання наступних операцій[10]:

- автоматичне підтримання дизеля в стані гарячого резерву;
- автоматичні пуск і зупинку дизель-генератора;
- дистанційні пуск і зупинку дизель-генератора;
- автоматичну захист дизель-генератора шляхом його зупинки при виникненні аварійних станів;
- сигналізацію про стан дизель-генератора;
- вбудований функціональний контроль справності.

Режими управління електростанцією залежать від складу електростанції (наявність валогенераторов, керованих вимикачів харчування з берега, секційних вимикачів). Вибір необхідного режиму управління проводиться кнопкою дисплея на контролери.

Крім стандартних функцій сервісна програма DEIFUSW забезпечує додаткові можливості, наприклад, висновок на екран всієї необхідної інформації для

пусконаладжувальних робіт, повне управління контролером, збереження і завантаження файлів налаштувань, а також оновлення програмного забезпечення контролера.

Для максимально точного відповідності системи РРМ-3 завданням автоматизації різних типів електростанцій функціональність системи розділена на опції, які включаються в стандартну систему РРМ-3 при замовленні.

Система РРМ-3 має 4 типи дисплейних блоків в залежності від складу електростанції: Дизель генератора (DG), / берегового живлення (SC), аварійного / стоянкового дизель генератора (EDG) і секційного вимикача (ВТВ). Суднову мережу та контролери управління з терміналами дів на рис. 2.7.

Система автоматизації судновою електроенергетичною системою забезпечує наступний об'єм автоматизації:

- подачу сигналу на автоматичний пуск і підключення резервного ДГ при досягненні навантаження 90% номінального на робочому генераторі;
- автоматичну і точну синхронізацію генераторів з шиною ГРЩ;
- автоматичний розподіл активної загрузки між паралельно працюючими генераторами після підключення резервного;
- автоматичне відключення автомату фідера живлення з берегу при обриві однієї з живлячих фаз та сигналізацію про зниження напруги у берегової мережі менше 85% номінального значення;
- відключення другорядних споживачів при перенавантаженні генераторів;
- автоматичний контроль опору ізоляції на шинах ГРЩ;

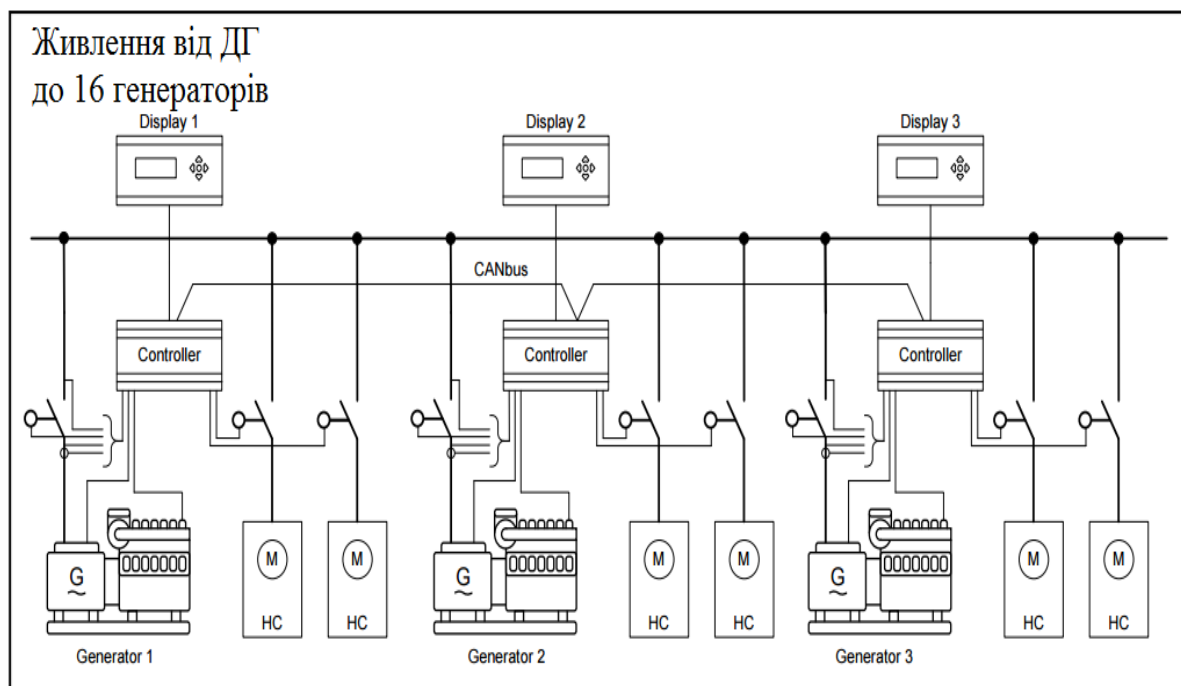


Рисунок 2.7. – Структурна схема ССМ СДГ

- автоматичну світлову сигналізацію про розгрузку любого паралельно працюючого ДГ до 35% номінального значення;
- напівавтоматичну синхронізацію з берегом;
- дистанційний пуск і зупинку первинних двигунів ДГ через систему ДАУ СДГ та сигналізацію про їхню роботу;
- дистанційний контроль основних параметрів електроенергії;
- аварійно-попереджувальну сигналізацію.

Розроблена система побудована на базі наступних універсальних функціональних пристроїв:

- автоматичної синхронізації;
- включення резерву;
- автоматичного розподілу потужності (активної загрузки);
- контролю ізоляції;
- світлової та звукової сигналізації;
- струмового захисту ;
- захисту електродвигунів від обриву фаз та пониження напруги.

Оператор ССМ може спостерігати значення всіх контролюваних параметрів СГД за допомогою мнемосхеми на мониторі у програмі ССМ (рис. 2.8).

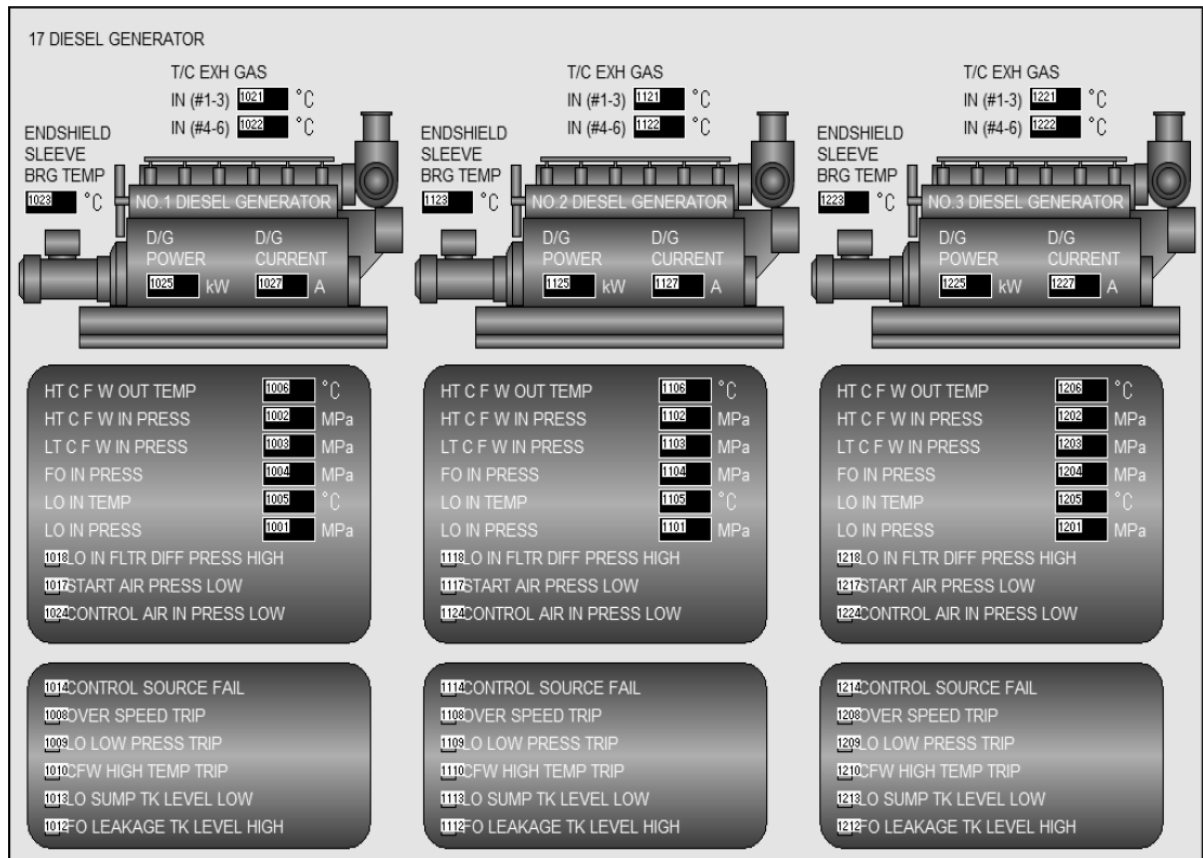


Рисунок 2.8. – Мнемосхема параметрів СГД на сервері ССМ у ЦПУ

РОЗДЕЛ 3. РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ

3.1. Створення системи підтримки прийняття рішень на базі нечіткої логіки для оператора ЦПУ

Система підтримки прийняття рішень (DecisionSupportSystem, DSS) - комп'ютерна автоматизована система, метою якої є допомога людям, що приймають рішення в складних умовах для повного й об'єктивного аналізу предметної діяльності [19]. На розвиток СППР істотний вплив зробили вражаючі досягнення в галузі інформаційних технологій, особливо в галузі телекомунікаційних мереж, комп'ютерної техніки, динамічних електронних таблиць, експертних систем. Термін СППР (DSS - Decision Support System) виник у 70-х роках і належить Геррі та Мартону, хоча перше покоління СППР мало чим відрізнялося від традиційних управлінських інформаційних систем, і тому замість СППР часто використовувався термін «системи управлінських рішень». Дотепер немає єдиного визначення СППР. Наприклад, деякі автори під СППР розуміють «інтерактивну прикладну систему, що забезпечує кінцевим користувачам, що приймають рішення, легкий і зручний доступ до даних і моделей із метою прийняття рішень у ситуаціях з різних галузей людської діяльності.

Така розмаїтість визначень СППР відображає широкий діапазон різних форм, розмірів, типів СППР. Але практично усі види цих комп'ютерних систем характеризуються чіткою структурою, що включає 3 головних компонента: підсистему інтерфейсу користувача; підсистему керування базами даних (СУБД) і підсистему керування базою моделей.

Експертна система (expert system ЕС) — комп'ютерна програма, здатна частково замінити фахівця-експерта в дозволі проблемної ситуації. ЕС почали розроблятися дослідниками у 1970-х роках, а в 1980-х одержали комерційне підкріплення.

В експертні системи розглядаються разом з базами знань як моделі поведіння експертів у певній області знань із використанням процедур логічного виводу й прийняття рішень (рис.2.11). А бази знань (БЗ) — як сукупність фактів і правил логічного виводу в обраній предметній області діяльності. Під БЗ розуміється модель предметної області, що містить: формалізовані знання фахівців у вигляді наборів евристичних правил що визначають стратегію керування евристичними правилами в ході реалізації основних функцій ЕС; відомості про структуру й зміст БД.

БЗ, на відміну від БД, містить не тільки кількісні характеристики фактів (дані), а в основному суб'єктивні евристичні знання експертів. Знання в БЗ утворюють складні ієрархічні структури, що досягається шляхом введення різноманітних відносин, взаємозв'язків. Виходячи з типовий ЕС розглянемо функції, структуру й призначення компонентів. ЕС служать для виконання наступних основних функцій: збір, зберігання й обробка даних і знань про предметну область; придбання й виведення нових знань із сукупності раніше були; спілкування з користувачем на обмеженій природній мові одержання правдоподібного виводу; реалізація основних якостей фахівця-експерта (імітація участі в розумових процесах людини).

ЕС підтримує кілька режимів роботи з користувачем: навчання ЕС користувачами-експертами з нових знань; навчання користувача ЕС; консультації користувача з ЕС (рис.3.1).

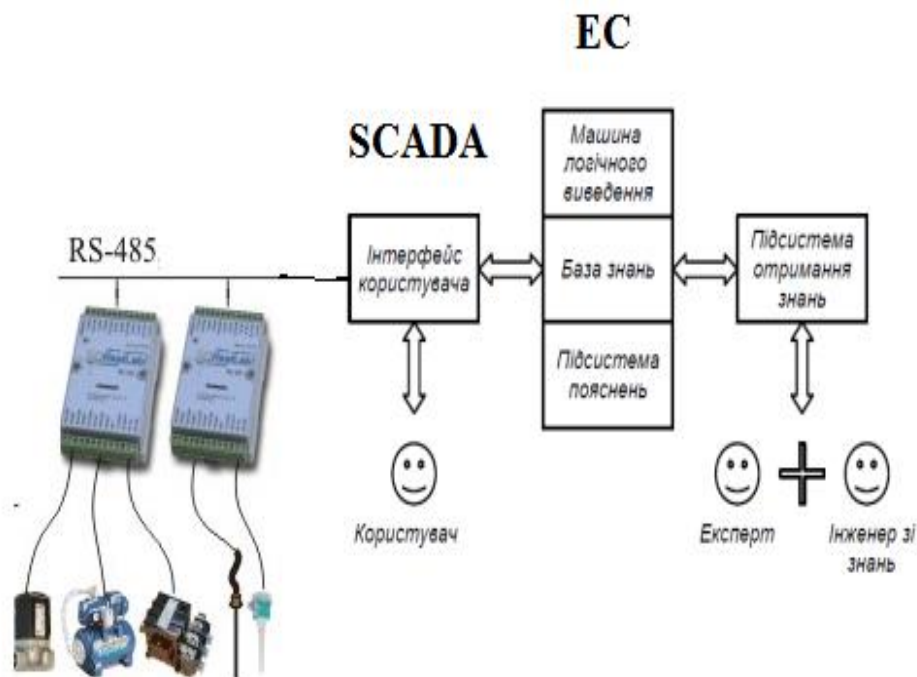


Рисунок 3.1. – Структурна схема ЕС у КІСУ ОТК

Основна труднощі у створенні інтелектуальної ЕС СДГ у тому, що експлуатація суднового електроустаткування характеризується суттєвою невизначеністю. Це пов'язано характерними для морської експлуатації факторами: хитавиця, вплив людського фактора, необхідність здійснення маневрів і пов'язані з цим змінні режими навантаження роботи СДГ. Для визначення технічного стану елементів СДГ застосування апарату нечіткої логіки дозволяє працювати з існуючою невизначеністю, неповнотою та нечіткістю інформації. На думку авторів у моделі нечіткої експертної системи для визначення технічного стану СДГ вхідними змінними є опір ізоляції, повна потужність, температура обмотки статора, температура обмотки ротора, температура підшипника, вібрація генератора, зміна кольору вихлопних газів дизеля, зміна температури охолоджуючої води та тиску мастила у дизелі, збільшення подачі палива на базових режимах. Виходом параметром є технічний стан СДГ та його підсистем у вигляді нечітких множин («не задовільний», «задовільний», «добрий», «дуже добрий») та рекомендації щодо подальшої експлуатації та обслуговування.

Умови експлуатації суднових дизелів, на відміну стаціонарних, характеризуються нестабільністю. Це пов'язано з низкою факторів, характерних для морської експлуатації: бортова, кильова та вертикальна хитація; змінні вологість, температура та тиск навколишнього середовища; необхідність здійснення маневрів та пов'язані з цим змінні навантажувальні режими; частий перехід різні сорти палив: від легкого дизельного до важкого; вплив людського чинника. Враховуючи об'єктивно існуючу невизначеність, неповноту та нечіткість інформації про об'єкт при розробці бази знань та механізмів виведення експертних систем, доцільно використовувати апарат нечіткої логіки, що дозволяє об'єктивно оцінити технічний стан та більш обґрунтовано приймати рішення щодо управління ремонтом суднового обладнання (рис.3.2).

Термін «нечіткий» стосується речей, які не є визначеними. У булевій системі вираження, яке має значення 1,0 представляє абсолютне значення істини, а 0,0 - абсолютне хибне значення. В Нечіткій системі немає абсолютної істини та абсолютного хибного значення. Але в ній є присутнє проміжне значення, яке частково є істинним та частково хибним.

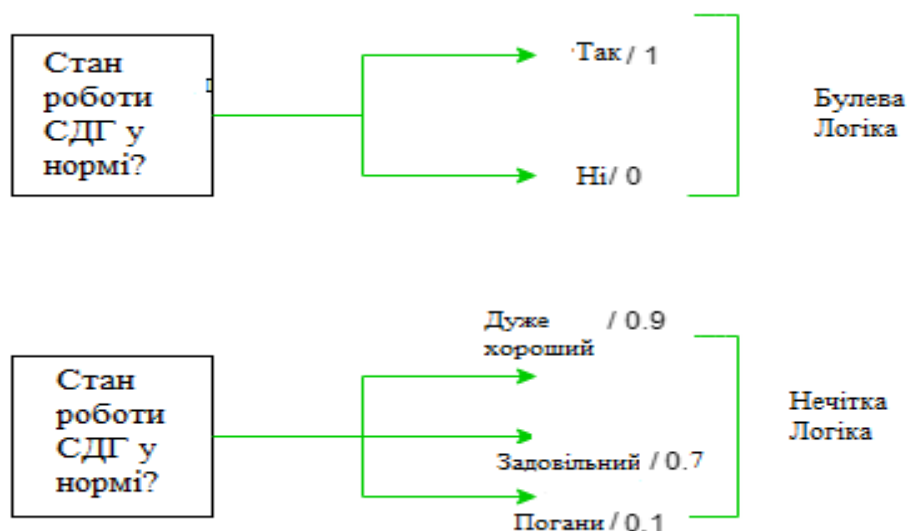


Рисунок 3.2 – Порівняння нечіткої логіки з булевою

Архітектурароботи системи нечіткої логіки має наступні частини(рис. 3.3) [12]:

1.База ПРАВИЛ: Вона містить набір правил та умови, надані експертами для управління системою прийняття рішень на основі лінгвістичної інформації. Останні розробки в теорії нечітких теорій пропонують кілька ефективних методів для проектування та настройки нечітких контролерів. Більшість із цих розробок зменшують кількість нечітких правил.

2.Фазифікація: Вона використовується для перетворення входів, тобто чітких чисел, в нечіткі набори.

3.Блок Виводу: Він визначає ступінь узгодження поточного нечіткого вводу щодо кожного правила.

4 Дефазифікація: Вона використовується для перетворення нечітких множин у чітке значення. Доступно декілька методів дефузіфікації, і найкращий із них використовується із спеціальною експертною системою для зменшення помилки.

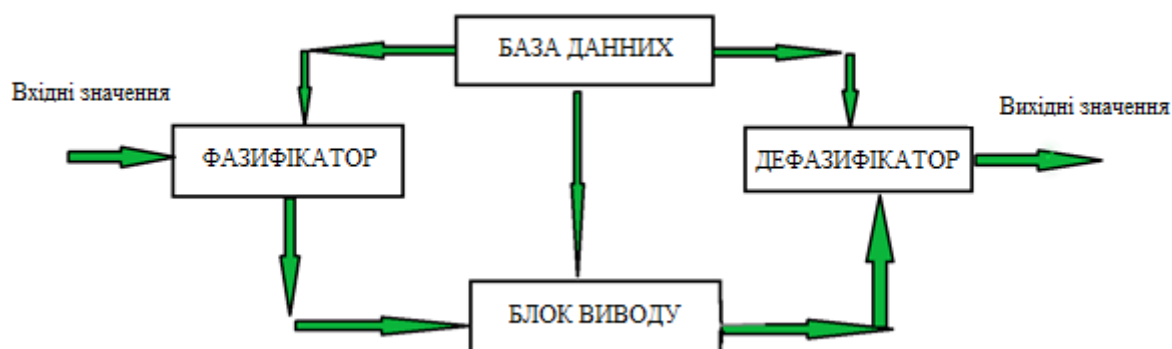


Рисунок 3.3- Структура системи нечіткої експертної системи

Нечіткі системи які працюють за алгоритмом Мамдані були розроблені для імітації роботи людських операторів, відповідальних за контроль певних промислових процесів. Мета такої нечіткої системи полягає в узагальненні досвіду оператора у наборі лінгвістичних правил IF-THEN, які можуть бути використані машиною для автоматичного управління процесом. Використовуючи такий набір правил, нечітка система Мамдані визначає функцію f , яка генерує числові виходи $y = f(x)$ з числових вхідних значень x .

Лінгвістичні правила IF-THEN записуються у формі "IF X is A THEN Y is B". Де X –вхідна змінна, а Y - вихідна. Однією з вхідних змінних для даної системи є похибка регулювання(K_p) для неї установлена вихідна змінна - коефіцієнт пропорційності K . Лінгвістичне правило запишеться у наступному вигляді:

"IF K_p is Вел. then K is Вел. ".

Тобто якщо похибка регулювання велика- вона набуває лінгвістичне значення «Вел»,тоді вихідне значення коефіцієнту пропорційності K також отримує значення «Вел». Частина IF називається попередником правила, а частина THEN - наслідком правила.

Система, яка використовує алгоритм Мамдані складається з наступних кроків:

Алгоритм Мамдані включає в собі наступні кроки [12]:

Дана програма включає в собі:

1. функції приналежності вхідних сигналів(input 1);
2. функції приналежності вихідних сигналів(output 1);
3. блок правил.

Правила складаються з умов і висновків, які в свою чергу є нечіткими висловлюваннями. Нечітке висловлювання включає в себе лінгвістичну змінну і терм, який представлений нечіткою безліччю (FuzzySet). На нечіткій безлічі визначена функція приналежності..

1. Формування бази правил. База правил - це безліч правил, де кожному підвисновку зіставлений певний ваговий коефіцієнт. База правил може мати такий вигляд (для прикладу використовуються правила різних конструкцій):
 RULE_1: IF «Condition_1» THEN «Conclusion_1» (F_1) AND «Conclusion_2» (F_2);
 RULE_2: IF «Condition_2» AND «Condition_3» THEN «Conclusion_3» (F_3);
 RULE_n: IF «Condition_k» THEN «Conclusion_(q-1)» (F_{q-1}) AND «Conclusion_q»(F_q);

де F_i — вагові коефіцієнти, які означають ступінь впевненості в істинності одержуваного підвисновка ($i = 1..q$). За замовчуванням ваговий коефіцієнт

приймається рівним 1. Лінгвістичні змінні, присутні в умовах називаються вхідними, а в заключних вихідними.

Позначення:

n - число правил.

m - кількість вхідних змінних;

s - кількість вихідних змінних;

k - загальна кількість підумов в базі правил.;

q -загальне число підвисновків в базі правил.

2.Фазифікація вхідних змінних. Цей етап часто називають приведенням до нечіткості. На вхід надходять сформована база правил і масив вхідних даних $A = \{a_1, ..., a_m\}$. У цьому масиві містяться значення всіх вхідних змінних. Метою цього етапу є отримання значень істинності для всіх підумов з бази правил.

3. Агрегація підумов. Умови правил може бути складовим, тобто включати підумови, пов'язані між собою за допомогою логічної операції «AND». Метою цього етапу є визначення ступеня істинності умов для кожного правила системи нечіткого виведення. Спрощено кажучи, для кожної умови знаходимо мінімальне значення істинності всіх його підумов.

4. Активізація підвисновків. На цьому етапі відбувається перехід від умов до подвисновків. Для кожного підвисновка знаходиться ступінь істинності $d_i = c_i * F_i$, де $i = 1..q$. Потім, знову ж кожному i -му подвисновку, зіставляється безліч D_i з новою функцією приналежності. Її значення визначається як мінімум з d_i і значення функції належності терму з підвисновка. Цей метод називається *min-активізацією*. Отже, мета цього етапу- отримання сукупності «активізованих» нечітких множин D_i для кожної підумови в базі правил ($i = 1..q$).

5. Акумуляція висновків. Метою цього етапу є отримання нечіткої безлічі (або їх об'єднання) для кожної з вихідних змінних. Виконується він наступним чином:

i -ої вихідної змінної зіставляється об'єднання множин $E_i = \cup D_j$. Де j - номер підвисновків в яких бере участь i -а вихідна змінна ($i = 1..s$). Об'єднанням

двох нечітких множин є третя нечітка множина з наступною функцією приналежності:

$\mu'_i(x) = \max \{ \mu_1(x), \mu_2(x) \}$, где $\mu_1(x)$, $\mu_2(x)$ — функції приналежності об'єднаних множин.

6. Дефазифікація вихідних змінних.

Мета дефазифікації- отримати кількісне значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. Формально, це відбувається в такий спосіб. Розглядається i -а вихідна змінна і відноситься до неї безліч E_i ($i = 1..s$). Потім за допомогою методу дефазифікації знаходиться підсумкове кількісне значення вихідної змінної.

З урахуванням вищесказаного за допомогою Fuzzy Logic Toolbox пакета програм MATLAB була складена система підтримки прийняття рішень при

Fuzzy Logic Toolbox - це пакет розширення MATLAB, що містить інструменти для проектування систем нечіткої логіки. Пакет дозволяє створювати експертні системи на основі нечіткої логіки, проводити кластеризацію нечіткими алгоритмами, а також проектувати нечіткі нейромережі. Пакет включає: графічний інтерфейс для інтерактивного покрокового проектування нечітких систем, функції командного рядка для розробки програм, а також спеціальні блоки для побудови систем нечіткої логіки в Simulink. Всі функції пакета написані на мові MATLAB, що дозволяє контролювати виконання алгоритмів, змінювати вихідний код, а також створювати свої власні функції і процедури. Fuzzy Logic Toolbox має наступні ключові особливості[15]:

- Графічний інтерфейс для інтерактивного покрокового проектування нечітких систем
- Функції для створення експертних систем на основі нечіткої логіки
- Підтримка логіки I, АБО і НЕ в настроюються правилах
- Стандартні типи експертних систем нечіткої логіки (Mamdani, Sugeno)
- Функції для нейроадаптивної і нечіткої кластеризації з навчанням
- Включення нечітких систем в Simulink-моделі

і • Генерація 3-коду і незалежних додатків, що реалізують системи нечіткої логіки

Для прикладу роботи програми була розроблена система контролю положення клапану витрат фреону в залежності від температури приміщення:

Етапи розробка НЕС технічного стану елементів суднового дизеля

Для визначення інформаційної цінності параметра такого складного технічного об'єкта, як судновий дизель, може бути використаний критерій інформативності K_i , що визначається за виразом

$$K_{\text{и}} = I_{\text{Б}} K_{\text{з}}$$

де $I_{\text{Б}}$ - кількість інформації про стан двигуна, що приноситься параметром; $K_{\text{з}}$ - значущість (вага) інформації параметра.

У таблиці 3.1 наведено значення критерію інформативності для деяких суднових дизелів. Наведені вихідні параметри за значеннями K_i можуть бути умовно поділені на три групи: високоінформативні $K_i = (1,0 \div 0,3)K(\text{імакс})$; середньої інформативності $K_i = (0,3 \div 0,03)K(\text{імакс})$; низької інформативності $K_i < 0,03K(\text{імакс})$

Таблиця 3.1

Параметри суднового дизеля MAN B&W 8L28/32 з високою інформативністю

Параметри	Межі роботи параметрів
Тиск води контуру прісного охолодження	не нижче 2,4 бар
Тиск мастила	не нижче 3,5 бар
Тиск палива	не нижче 3,0 бар
Температура води контуру високої температури	не більше 90 ° С
Температура мастила ДГ	не більше 80 ° С
Температура подшипников колінчатого вала	до 100 ° С
Різниця температури вихлопних	не більше $\pm 50^\circ\text{C}$

газів щодо встановленої	
Тиск пускового повітря	не нижче 15 бар

1. Етап фазифікації вхідних та вихідних параметрів у програмі Fuzzy Logic Toolbox пакету MATLAB (версія on line).

При формуванні виведення були задані такі відносини щодо загального стану дизеля:

- від 0 до 25 % – рівень стану «дуже низький». Потрібно виведення обладнання з ладу внаслідок або запобігання аварії;
- від 25 до 50% – рівень стану «низький». Потрібне технічне обслуговування (заміна підшипників, перевірка стану паливної апаратури і т.д.), рекомендується тимчасове виведення обладнання з ладу;
- від 50 до 75% – рівень «нормальний». Потрібне технічне обслуговування (ревізія, огляд, перевірка стану вузлів) без виведення ладу;
- від 75 до 85% – рівень «вищий за нормальний». Потрібна додаткова обробка даних, отриманих під час додаткової діагностики. Рівень має на увазі обробку даних для визначення можливих неконтрольованих в даний момент несправностей, що опосередковано впливають на значення контрольованих параметрів;
- від 85 до 100% – рівень «дуже високий». Дизель знаходиться в робочому стані, жодних додаткових дій, крім запису показань системи, не потрібно.

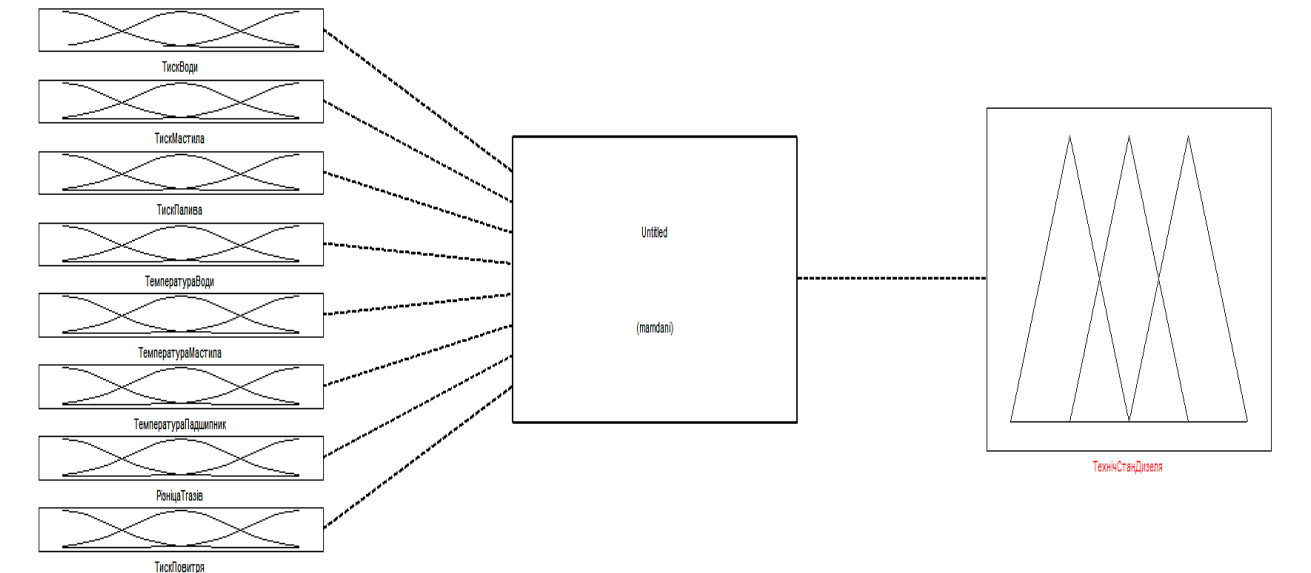


Рисунок 3.4. – Вікно інтерфейсу програми створення НЕС діагностики

Етапи процесу вибору типу функцій приналежності та інтервалу вимірювань контрольованих параметрів роботи суднового дизеля показані на рис. 3.4 – 3.11.

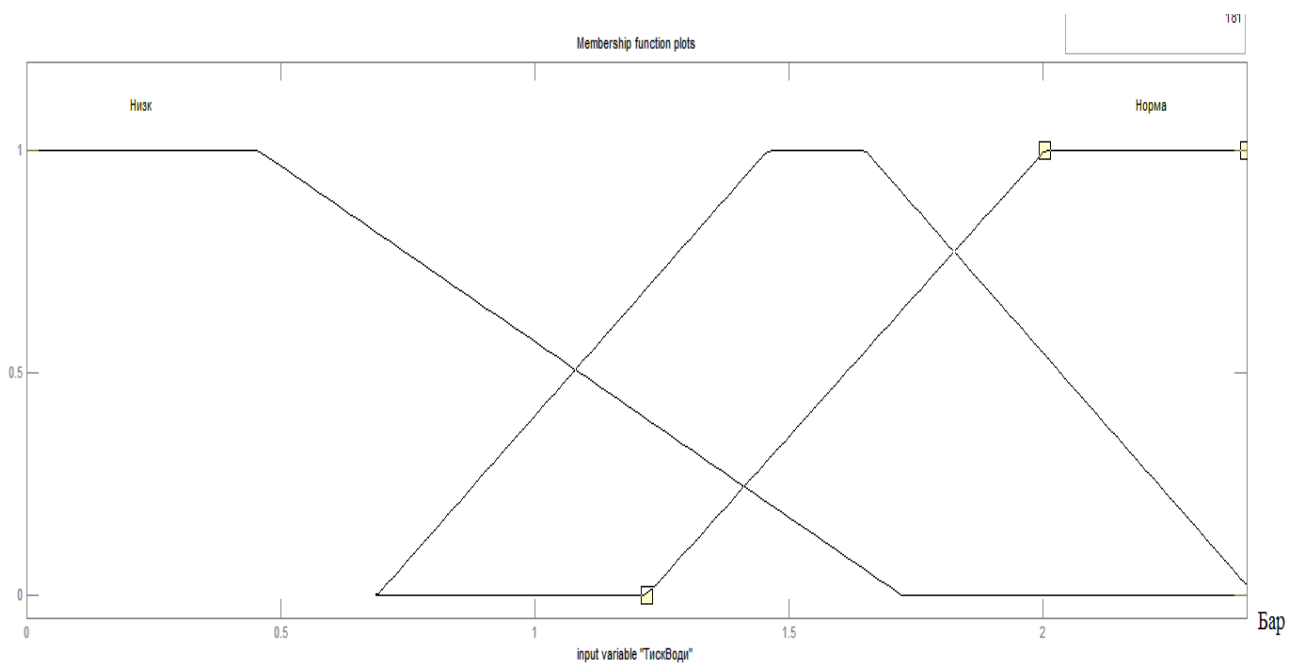


Рисунок 3.5 - Функції належності змінної «Тиск води на охолодження»

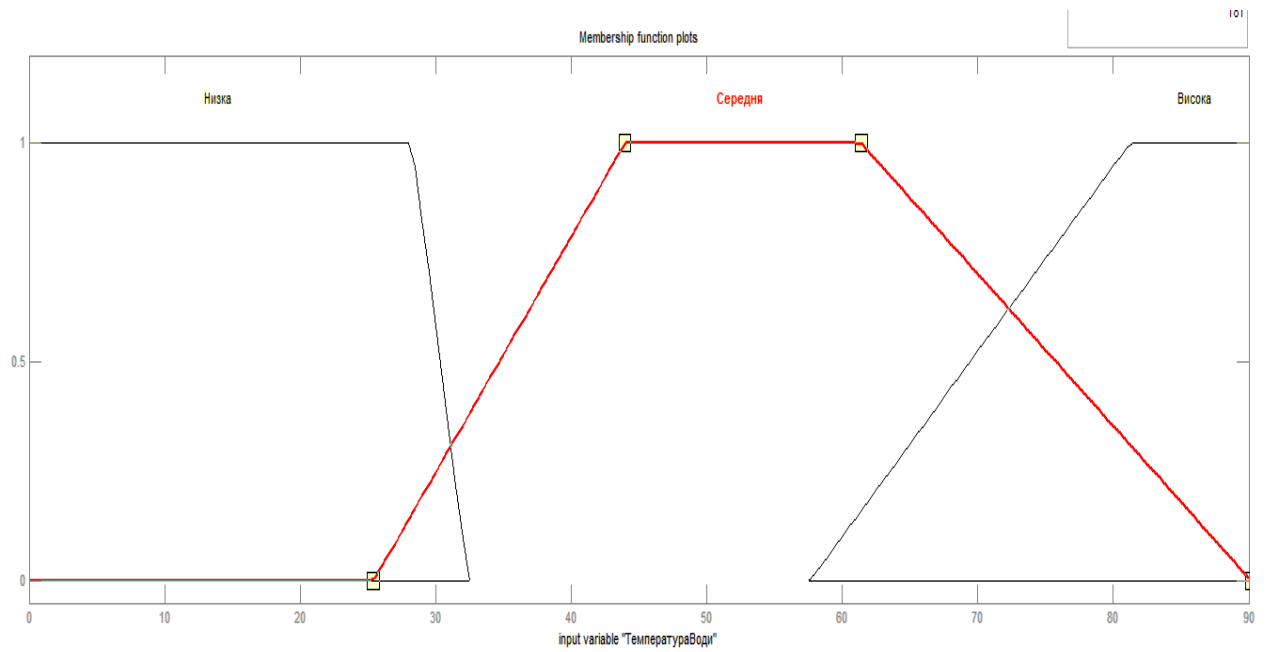


Рисунок 3.6 - Функції належності вхідного параметра «Температура води, що охолоджує дизель»

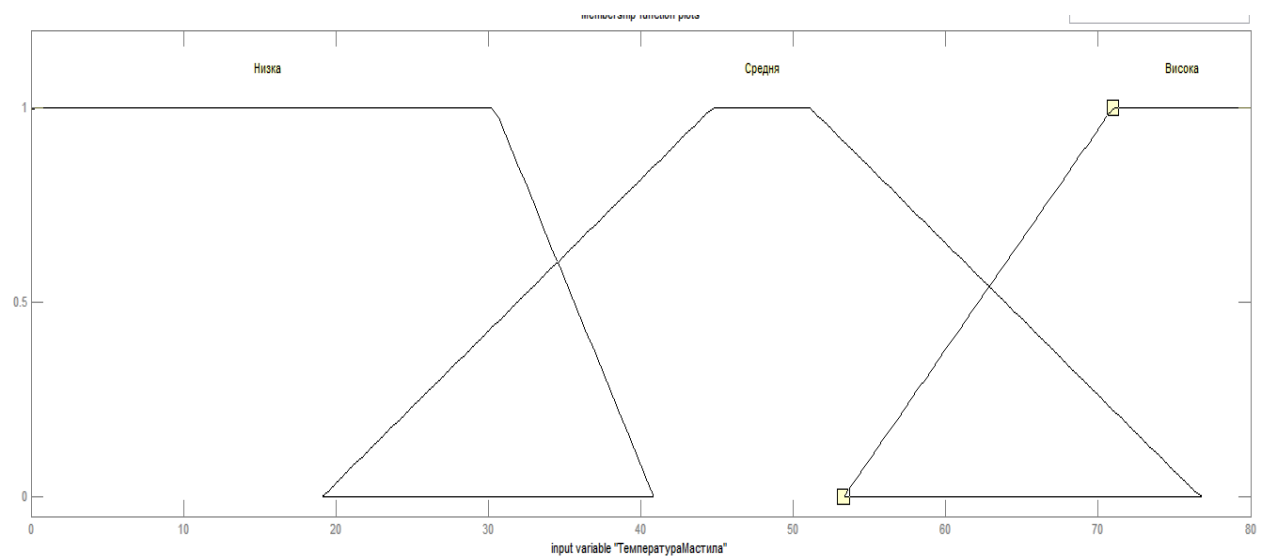


Рисунок 3.7 - Функції належності вхідного параметра «Температура олії»

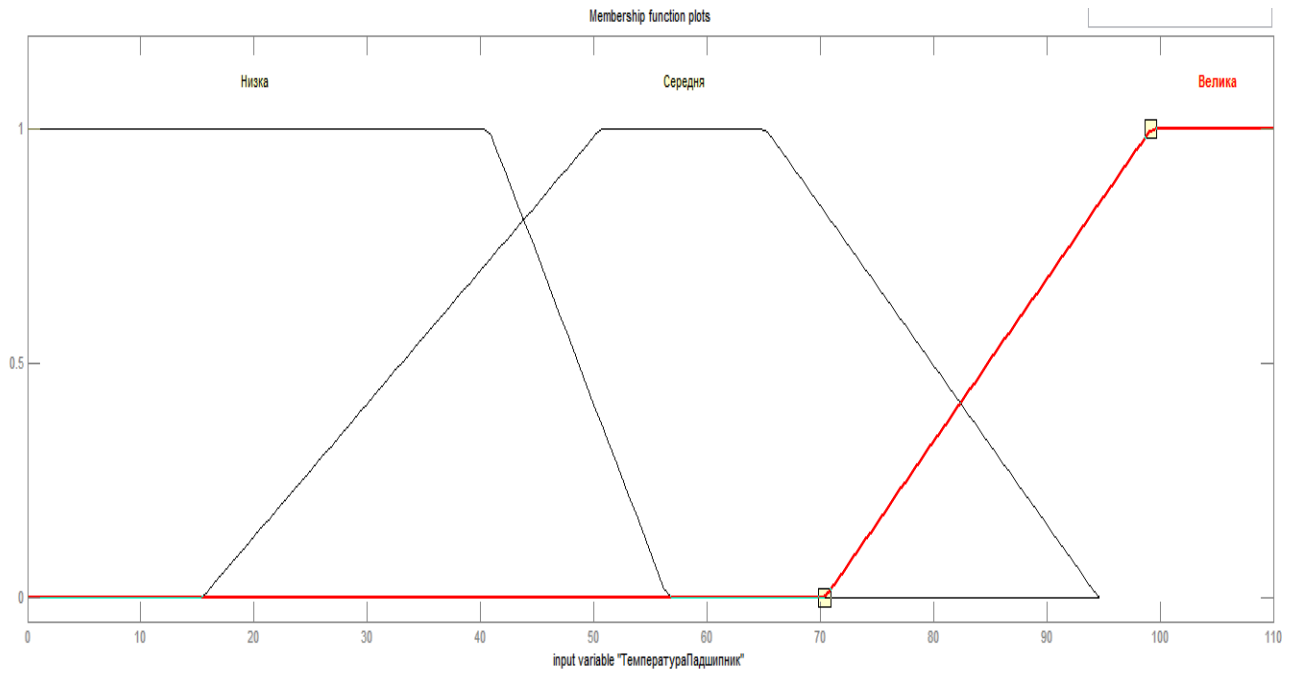


Рисунок 3.8 - Функції належності вхідного параметра "Температура підшипників валу"

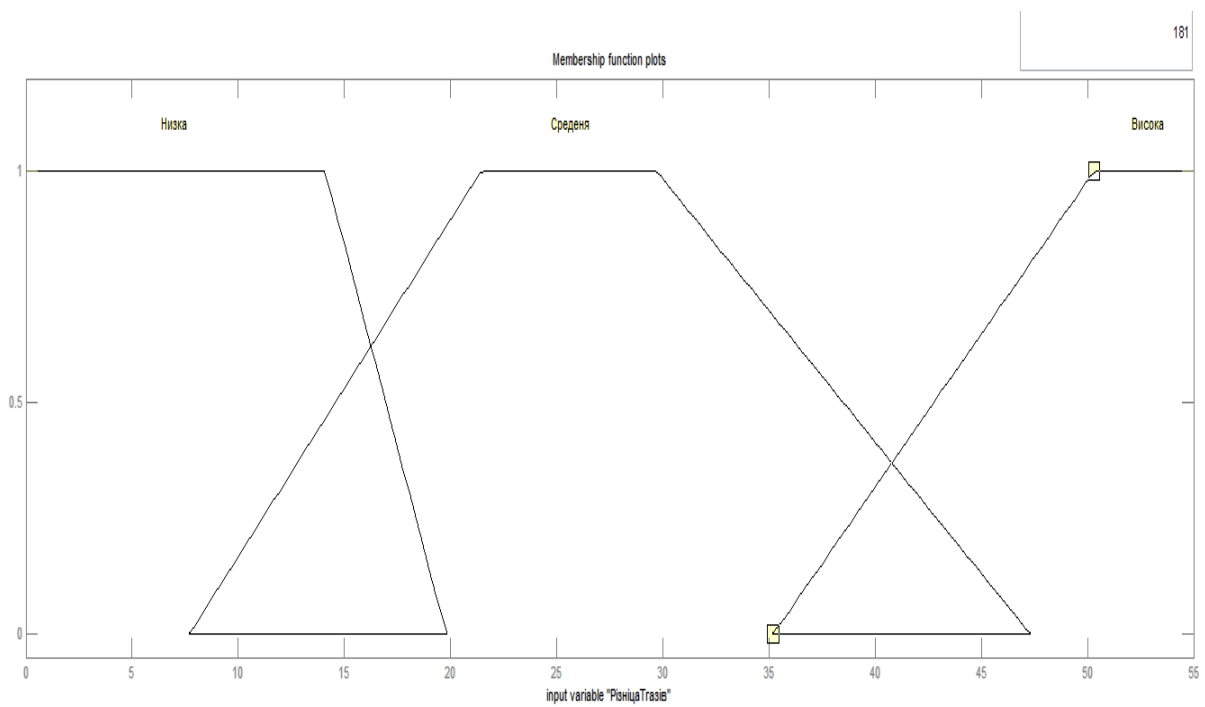


Рисунок 3.9 - Функції належності вхідного параметра «Різниця температури газів від

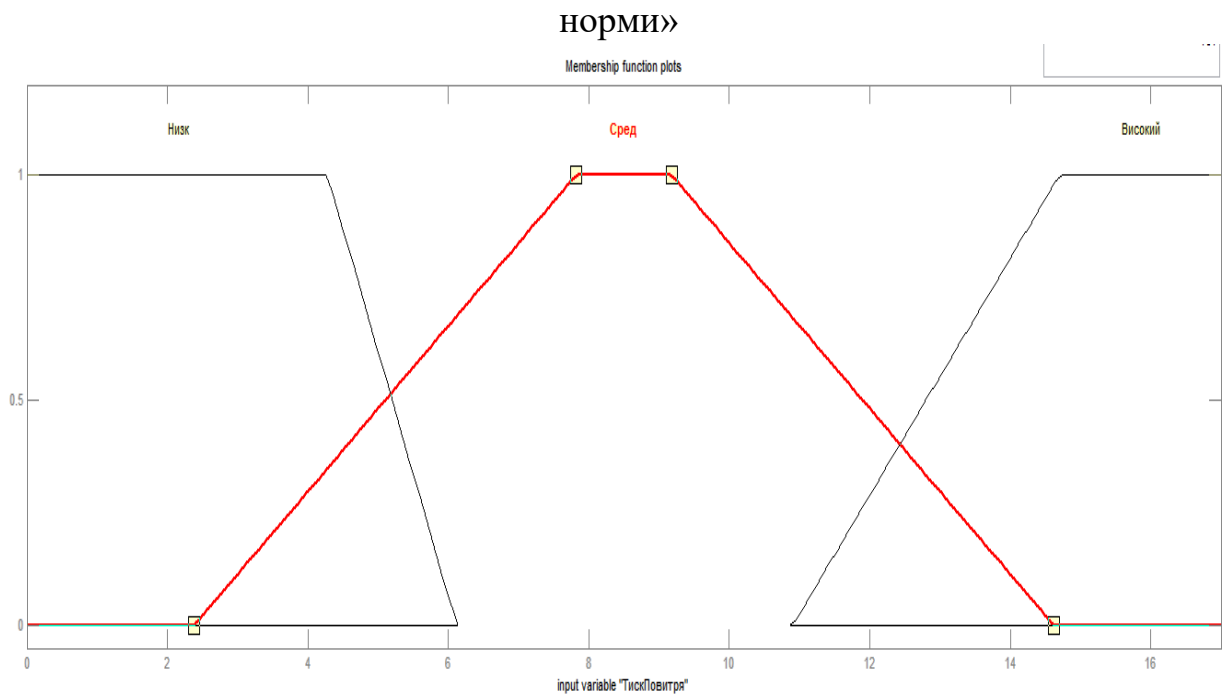


Рисунок 3.10 - Функції належності вхідного параметра «Тиск повітря»

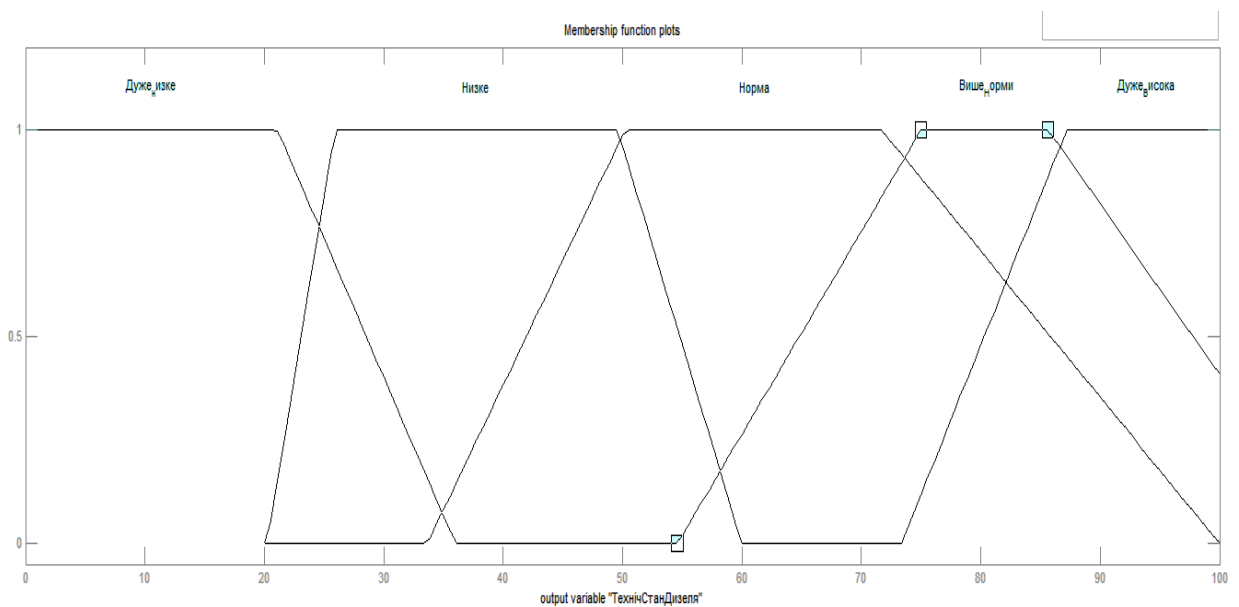


Рисунок 3.11 - Функції належності вхідного параметра "Технічний стан дизеля, Т"

Розробка бази знань НЕС (рис.3.12)

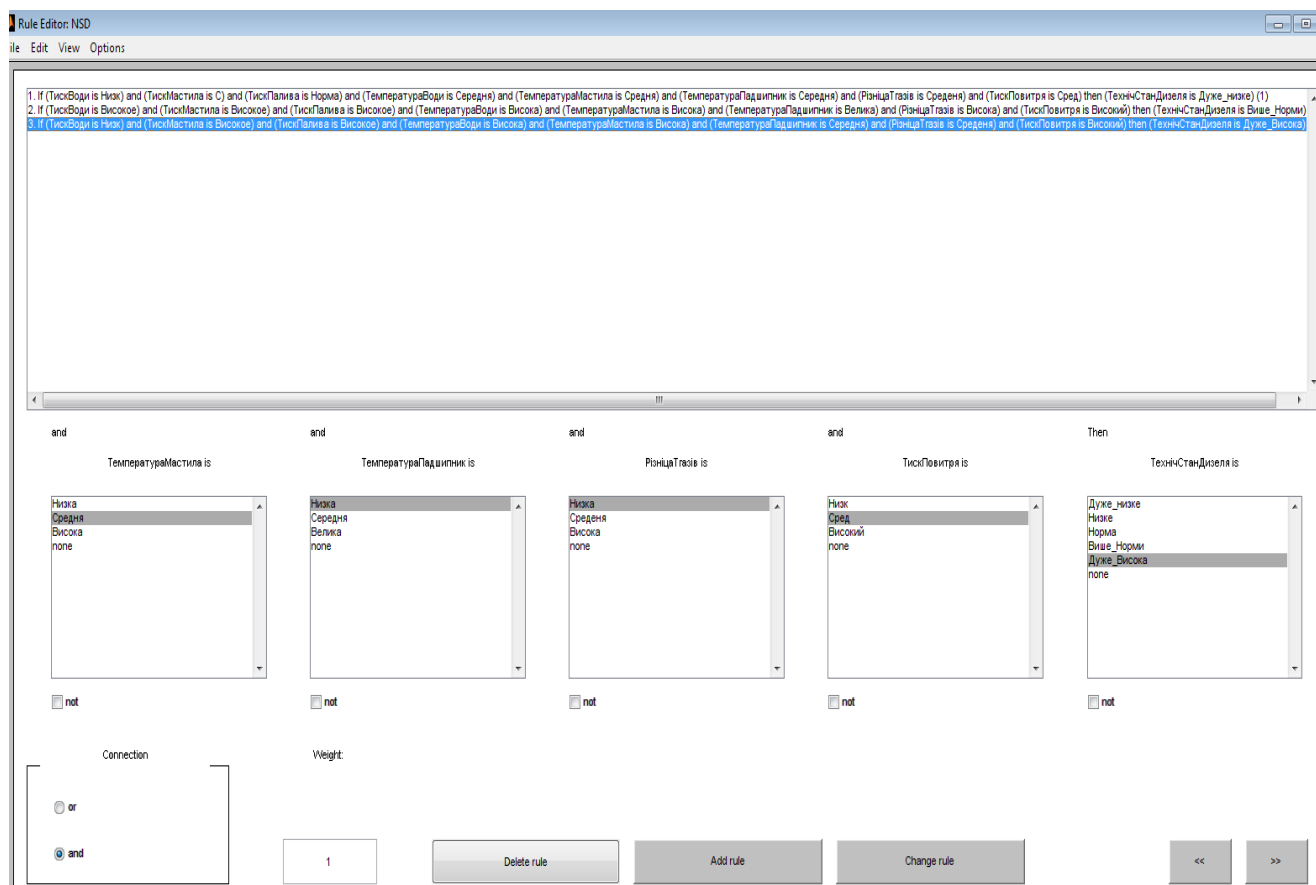


Рисунок 3.12- Етап розробки бази знань НЕС виду «Умови 1» І....
....«Умови ... № 8» ТО «Висновок про працездатність дизеля»

- демонстрація роботи НЕС оцінки технічного стану дизеля (рис.3.13-3.15)
при варіюванні значень вхідних контрольованих параметрів дизеля.

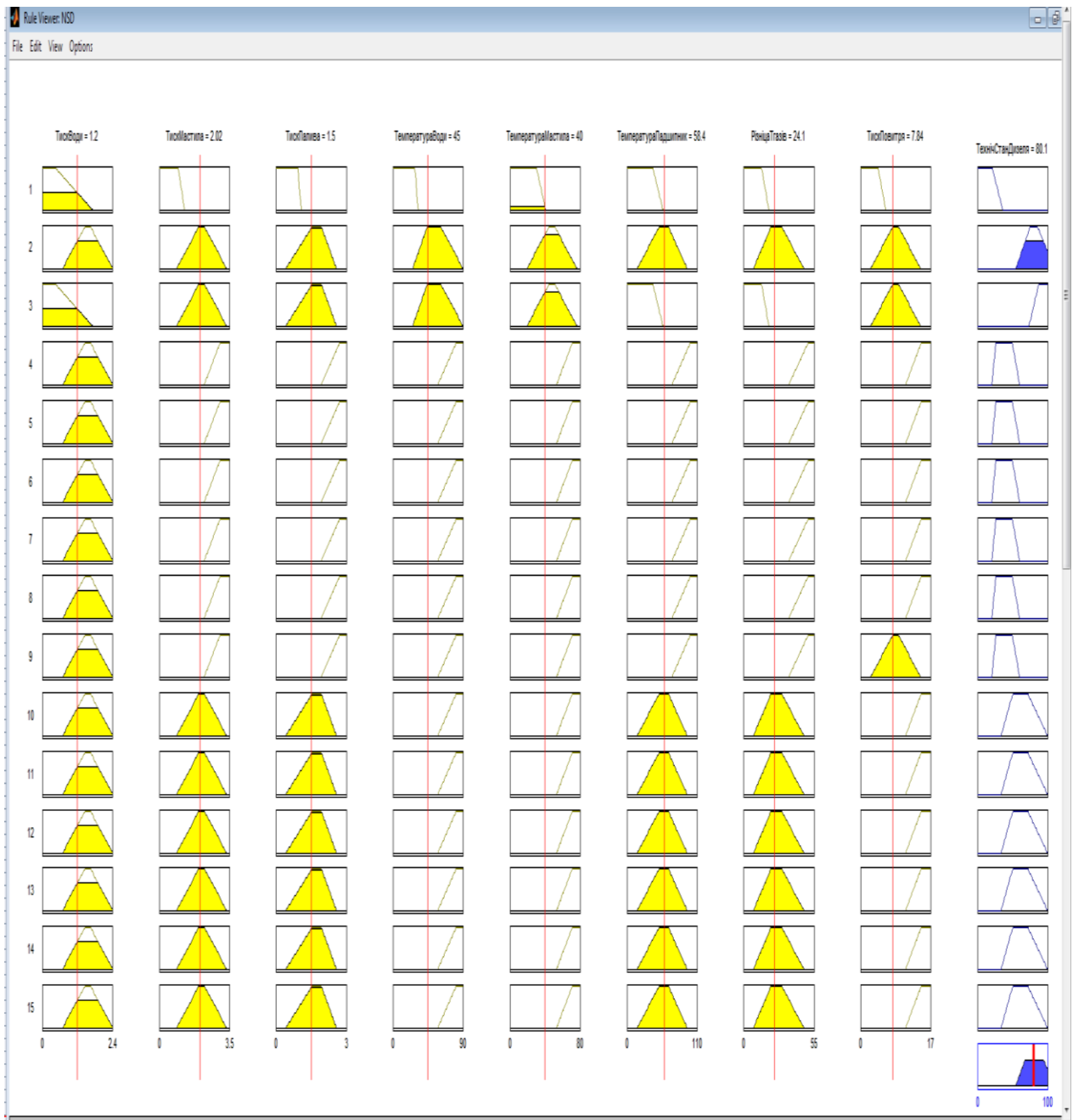


Рисунок 3.13 - Показники технічного стану дизеля $T = 80\%$

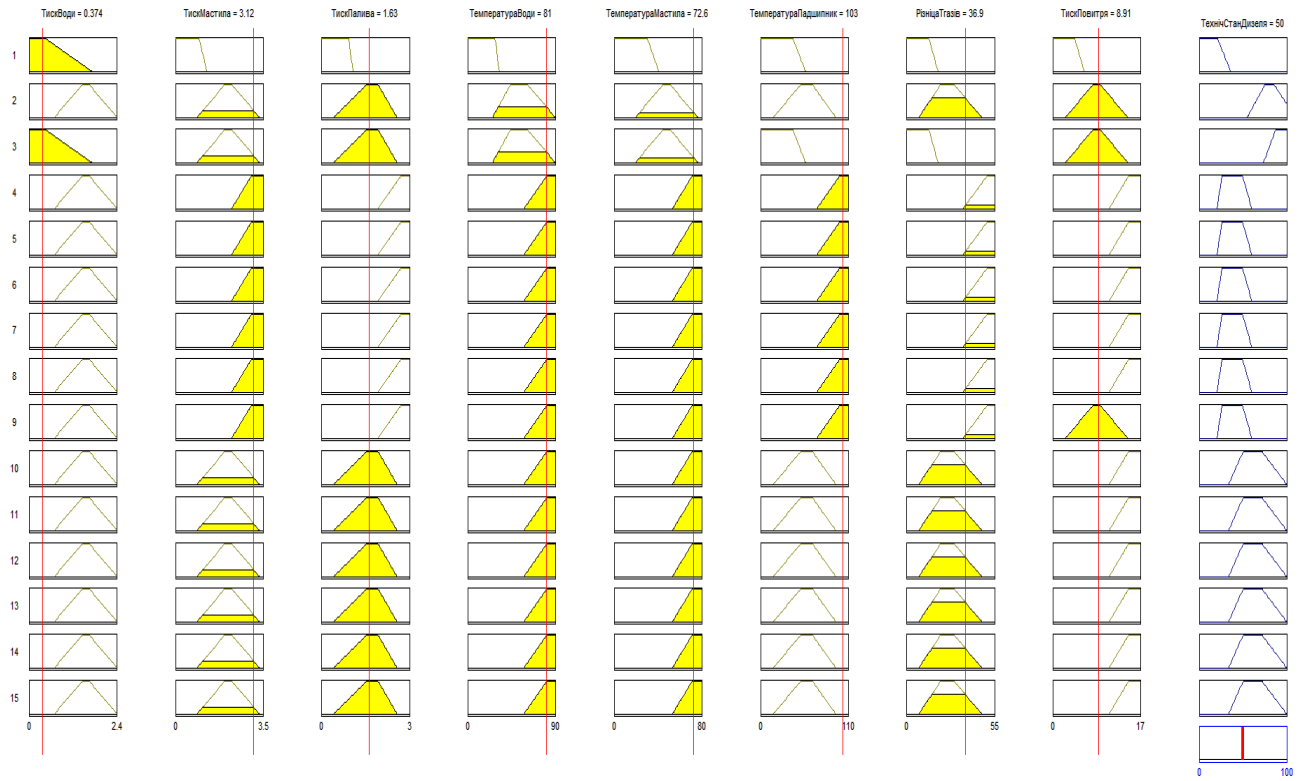


Рисунок 3.14 - Показники технічного стану дизеля $T = 50\%$



Рисунок 3.15 - Показники технічного стану дизеля $T = 15.4\%$

Демонтування роботи НЕС показало ефективний процес визначення показників працездатності дизеля та підтримку у прийнятті рішень електромеханіком щодо подальшого обслуговування та експлуатації.

При цьому можна зазначити, що робота НЕС може відбуватися в режимі безпосереднього виміру технічних показників температур та тиску пар метро дизеля. Інформація на станцію управління та моніторингу ССМ (рис.3.16) запропонованої експертною системою (НЕС) надходить від датчиків через контролер. А контролер надсилає інформацію на робочу станцію з експертною системою, яка здійснює розрахунок ступеня працездатності та видасть рекомендації щодо подальшої експлуатації дизельного обладнання.



Рисунок 3.16 – Структурна схема процесу вимірювання параметрів СГД та контролю технічного стану за допомогою нечіткої експертної системи

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

На даний час використовується та розробляється багато інтелектуальних систем, методів та засобів контролю та діагностики технічного стану електрообладнання. Разом з тим, необхідне вдосконалення існуючих та розробка нових технологій та практичних методів, які б забезпечували ефективне технічне обслуговування та ремонт електрообладнання за технічним станом [12].

Найбільш ефективною системою технічного обслуговування та ремонту електрообладнання в даний час є система з методами організації ремонту, що базуються на індивідуальному спостереженні зміни технічного стану в процесі експлуатації шляхом контролю та діагностики, що проводяться із встановленими технічною документацією глибиною та періодичністю.

Для визначення технічного стану елементів суднових енергетичних установок застосування апарату нечіткої логіки дозволяє працювати з існуючою невизначеністю, неповнотою та нечіткістю інформації. Вибір рішення щодо числової інформації в умовах невизначеності (ризик) виникає в тому випадку, коли з кожним прийнятим рішенням пов'язано кілька можливих результатів з відомими умовними ймовірностями.

У моделі експертної системи визначення технічного стану синхронного генератора входними змінними є опір ізоляції R_{iz} , потужність активна P , потужність реактивна Q , температура обмотки статора t_{stat} , температура обмотки ротора t_{rot} , виходом є технічний стан синхронного генератора T (рис.4.1).

На рис. 4.1 представлено структурну схему визначення технічного стану синхронного генератора [14]. Входами є перелічені параметри синхронного генератора (СГ), виходом – його можливі стану, притаманні даних входних параметрів.

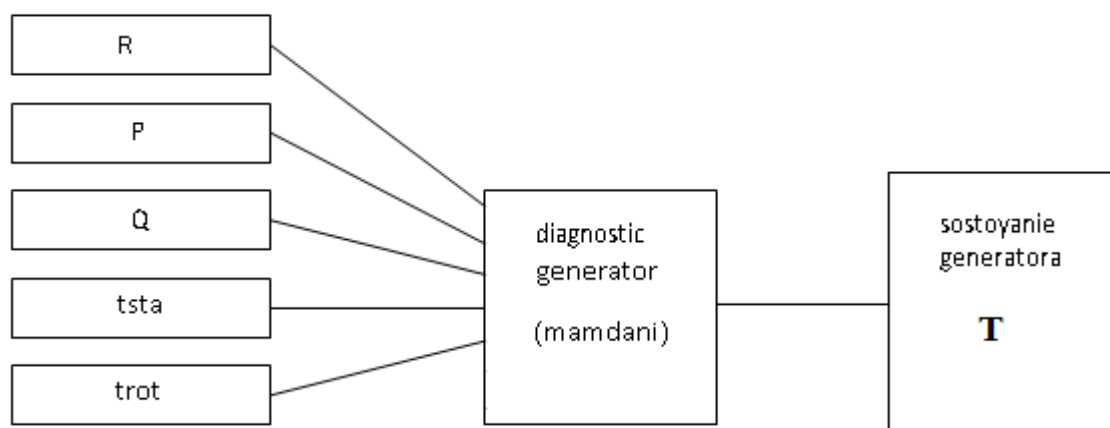


Рисунок 4.1 – Структурна схема визначення вхідних та вихідного параметрів СГ

Коливання потужності при паралельній роботі генераторних агрегатів обумовлені дією систем регулювання напруги, тому ці системи вводять додаткові елементи, які й забезпечують необхідну точність розподілу реактивної потужності. Розподіл реактивної потужності визначається різними зовнішніми та швидкісними характеристиками генератора та первинного двигуна, що викликано технологічними відхиленнями від розрахункових номінальних значень параметрів як генератора та первинного двигуна, так і елементів, що входять до системи регулювання.

З паспортних даних синхронного генератора (СГ) Hyundai Heavy Industries, тип HFC5 6, потужність 1600 кВт (2000 кВа). Для ходового режиму роботи СЕС активна та реактивація потужності складуть $P_{акт} = 1520$ кВт, $Q = 868$ кВАр. Темпеартура обмоток статора та ротора генератора має перевищувати 120 0С. Опір ізоляції статора становить не більше 550 мОм.

- Етап підключення входів і виходячи у програмі FuzzyLogicToolbox пакету MATLAB (версія online) можна побачити на рис. 4.2.

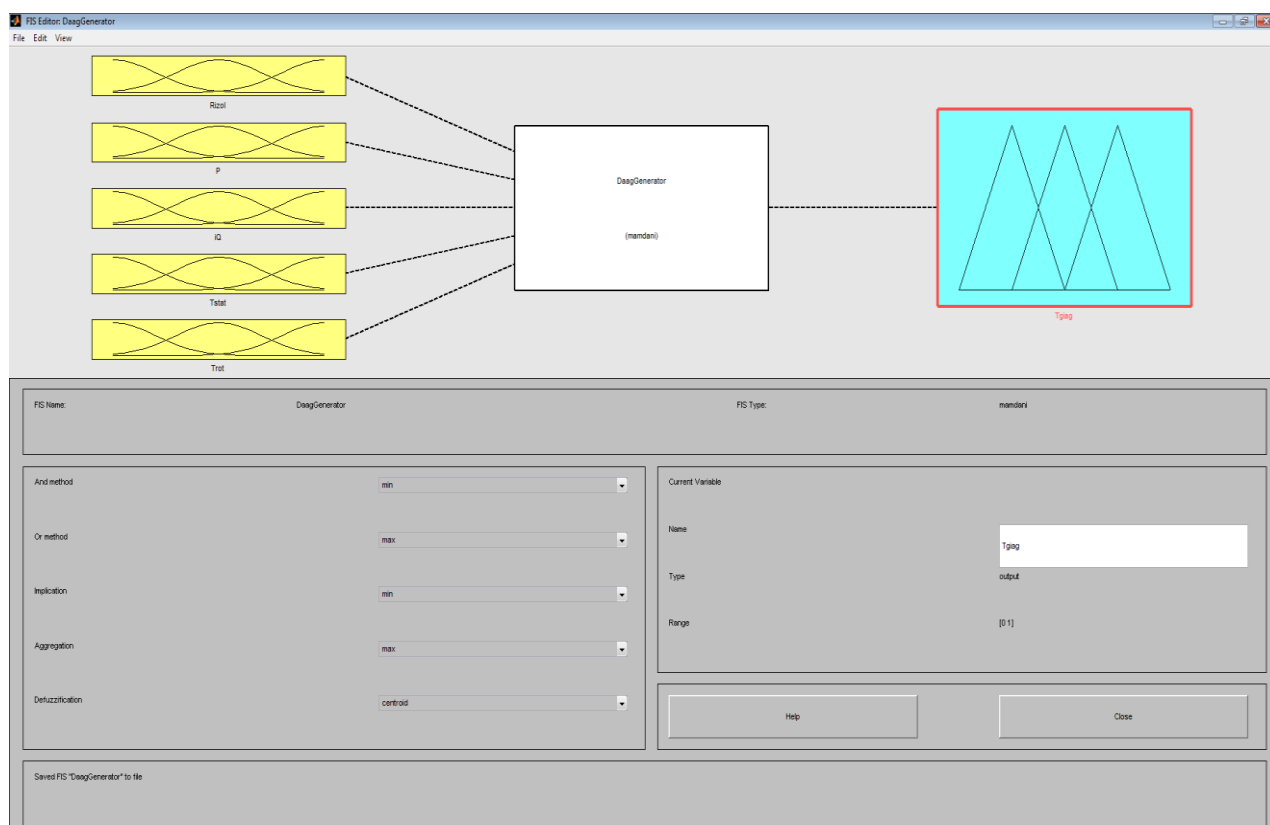


Рисунок 4.2 - Редактор підключення вхідних та вихідних параметрів СГ до бази знань

- Етап фазифікації входів та виходів НЕС (рис. 4.3 – 4.7), білі вібрані трапецевидний тип функцій належності та встановлені інтервали вимірювання.

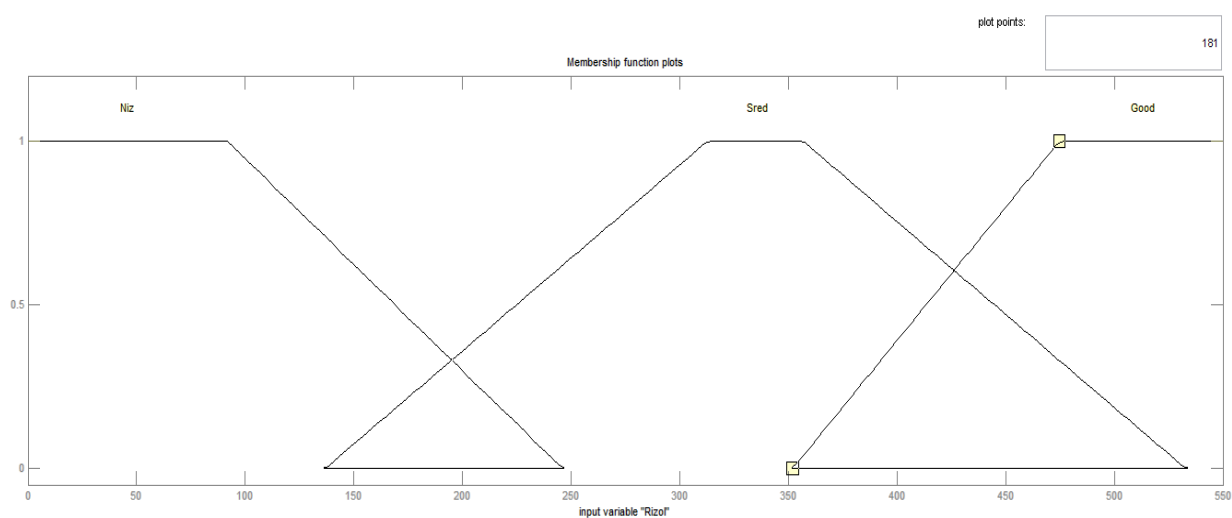


Рисунок 4.3 - Опір ізоляції статора

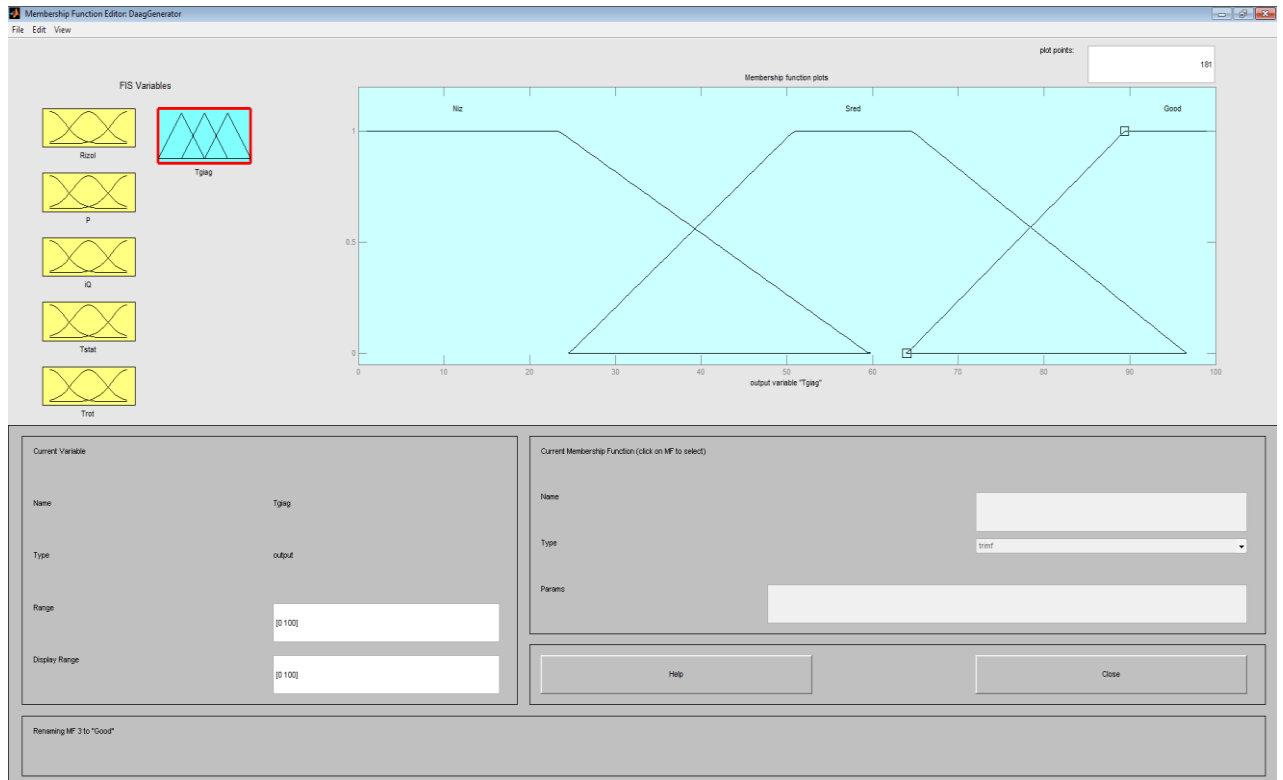


Рисунок 4.4 - Прогноз технічного стану СГ (вихід НЕС)

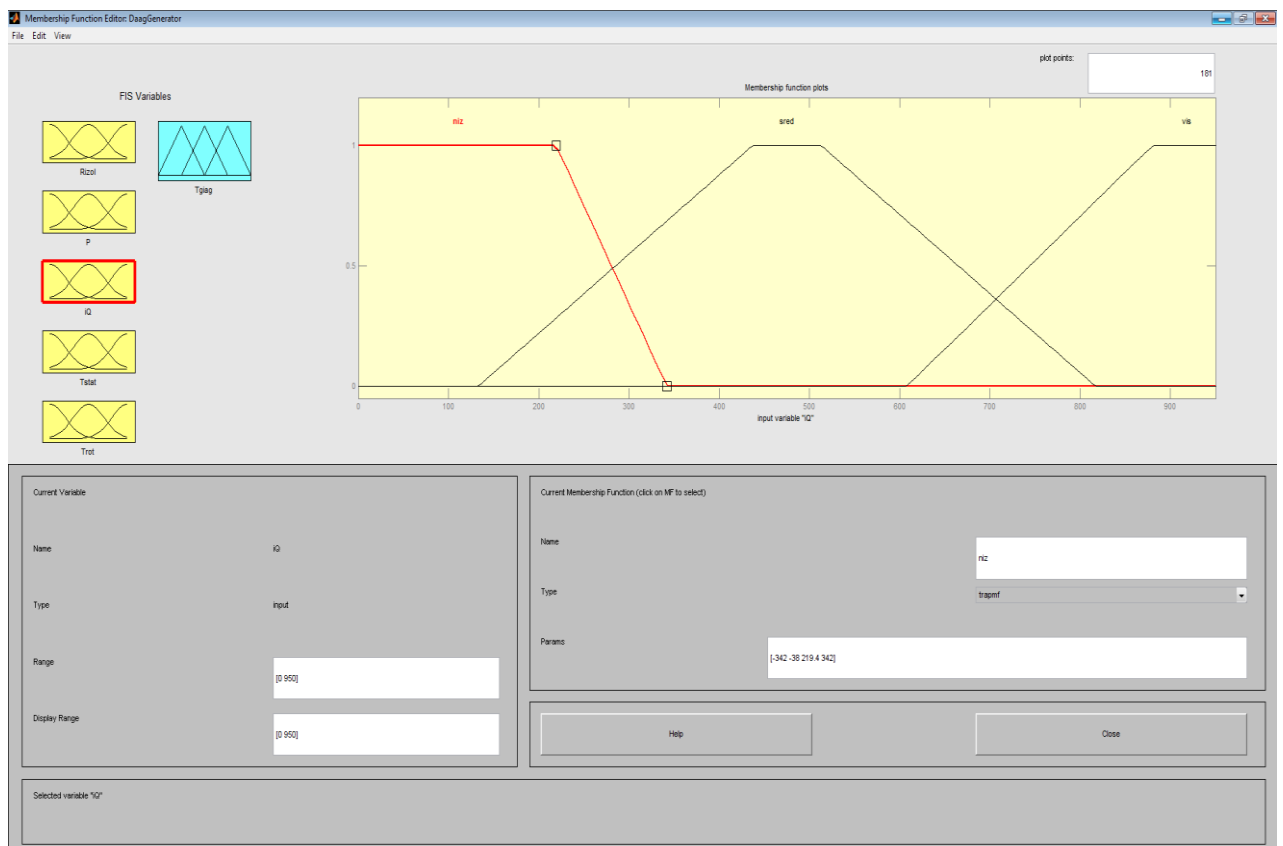


Рисунок 4.4 - Реактивна потужність

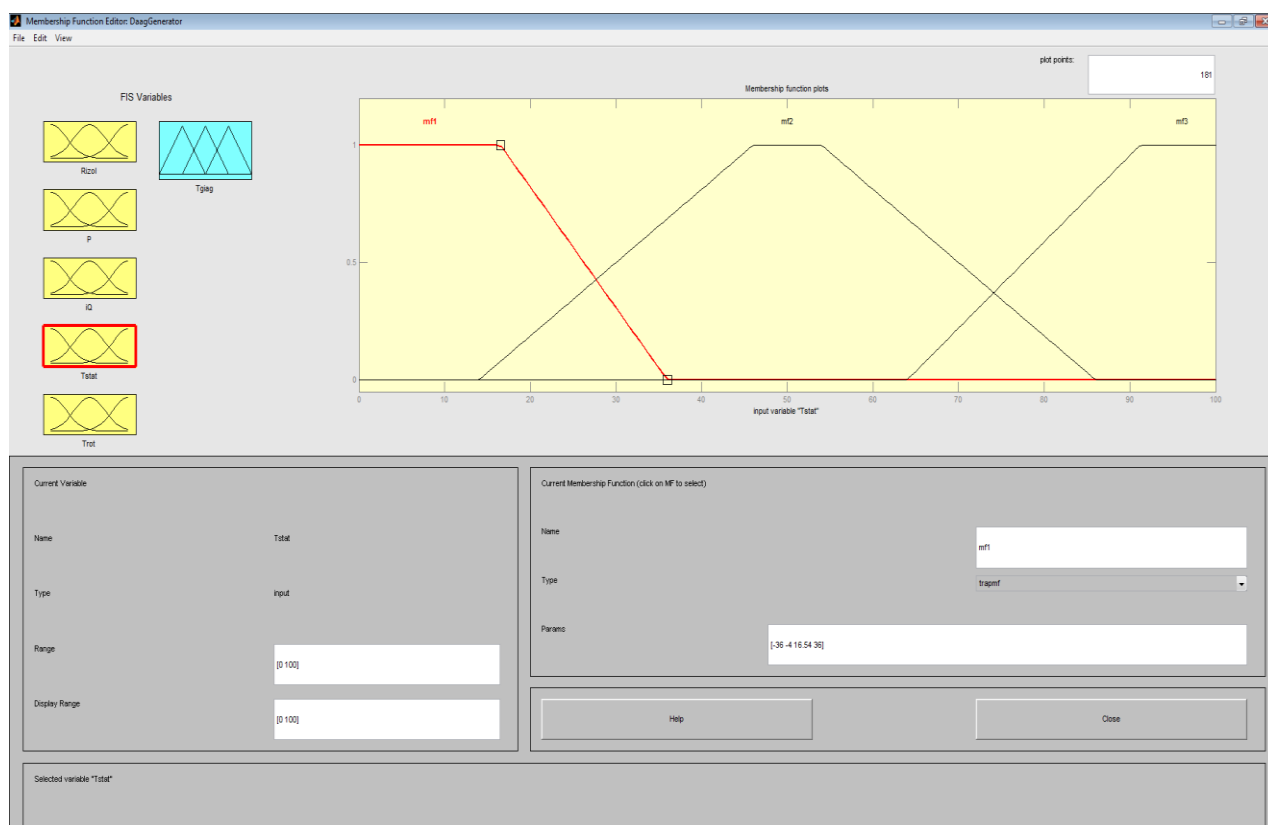


Рисунок 4.5 - Температура обмоток статора

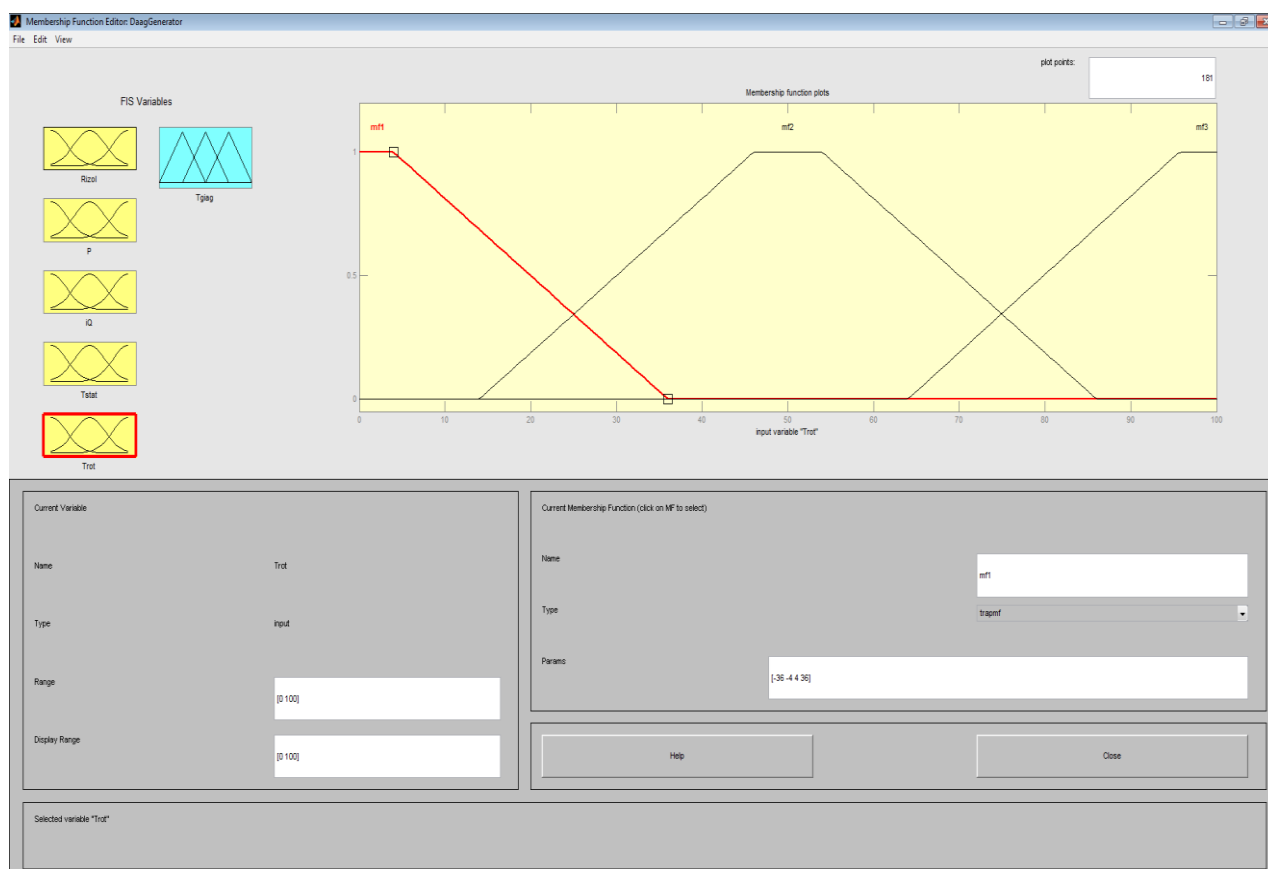


Рисунок 4.6 - Температура ротора

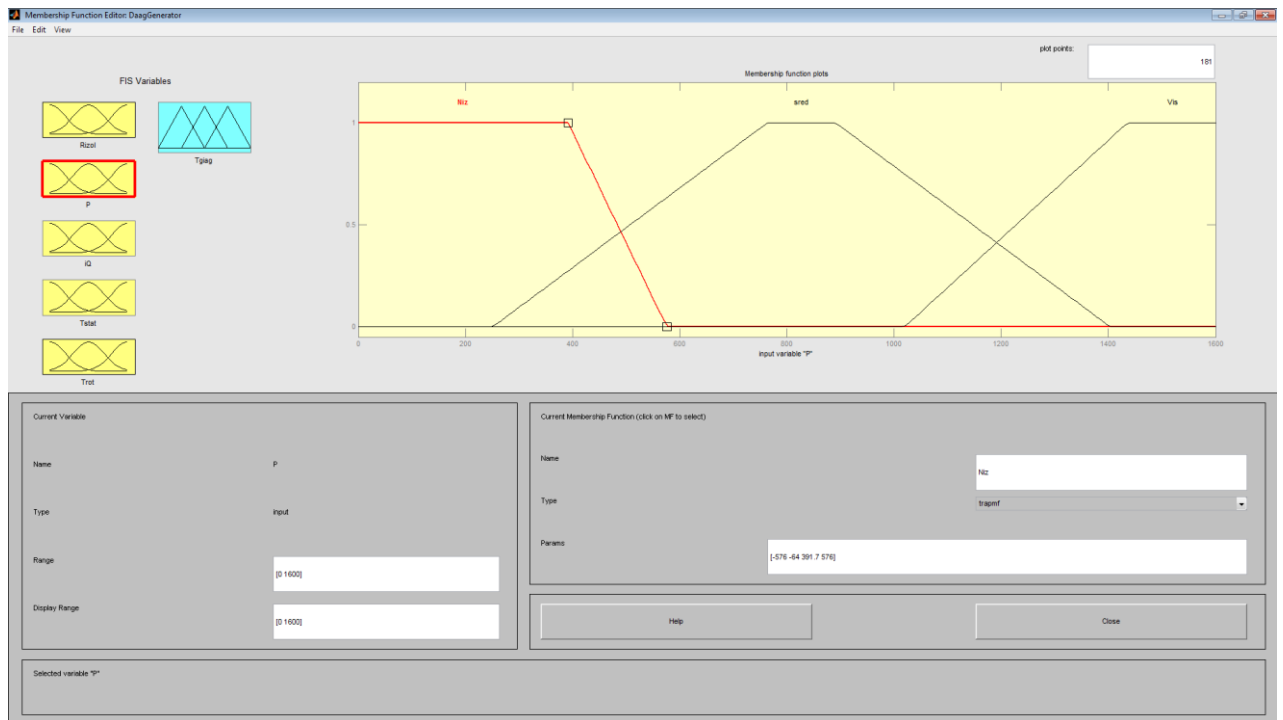


Рисунок 4.7 - Активация потужність СГ

Етап розробки правил логічних продукцій на основі досвіду експерта-електромеханіка
(рис.4.8)

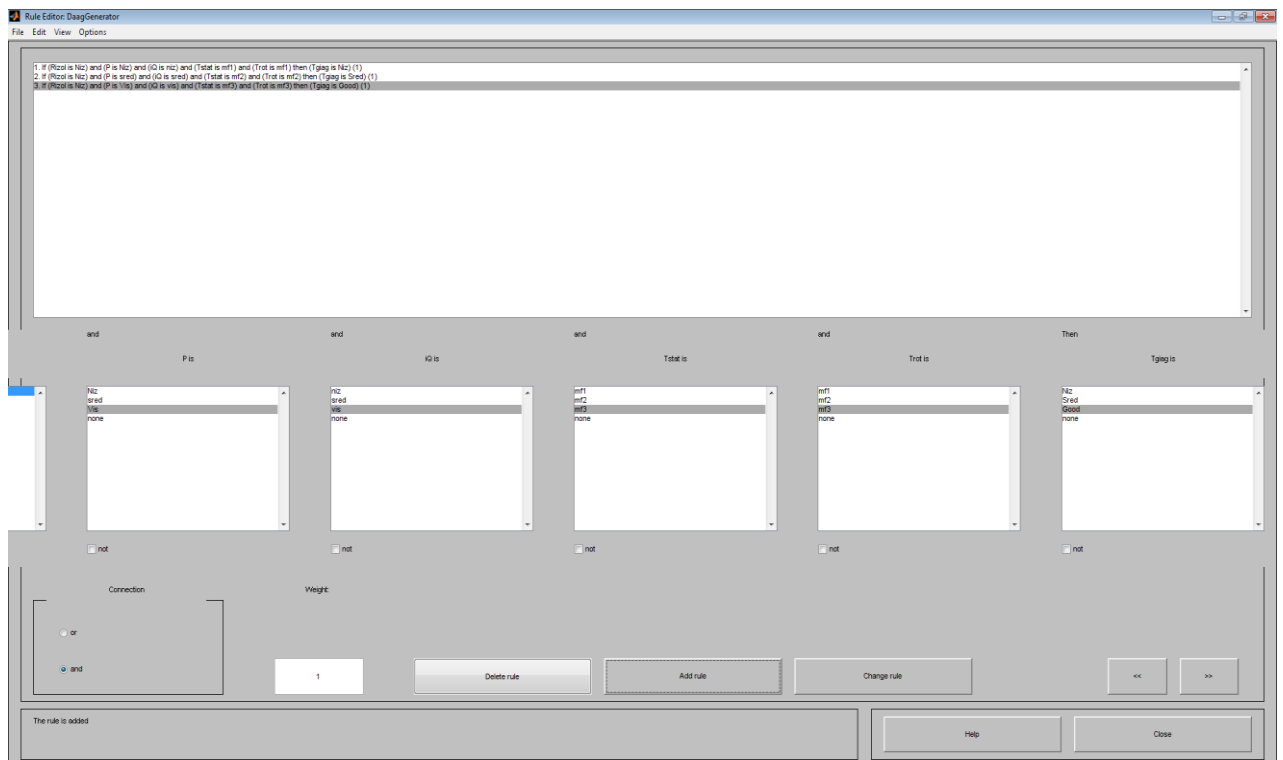


Рисунок 4.8 – Вікно створення бази правил оцінки стану СГ

Перевірка роботи НЕС здійснюється за допомогою меню «Правила» (рис.4.9 - 4.10)

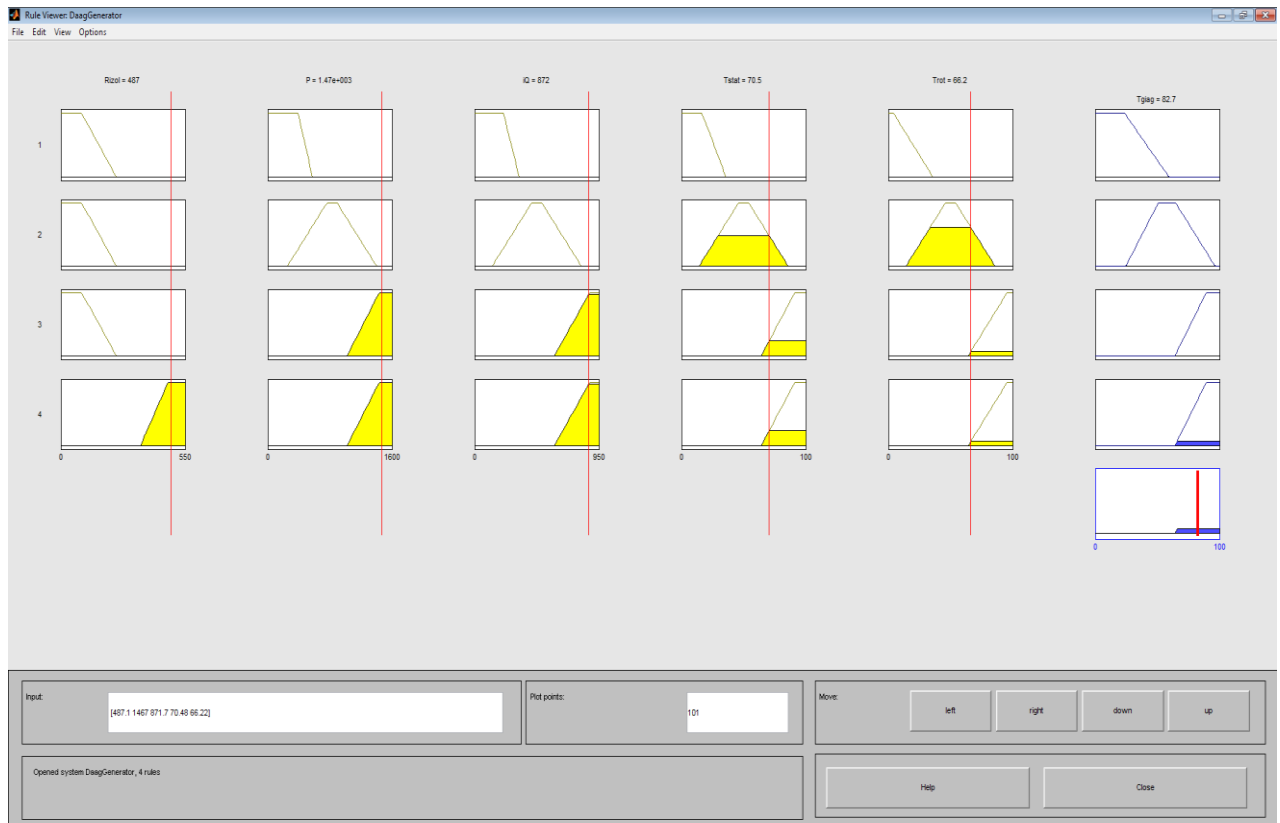


Рисунок 4.9 - Висновок НЕС про стан роботи СГ (T = 83 %)

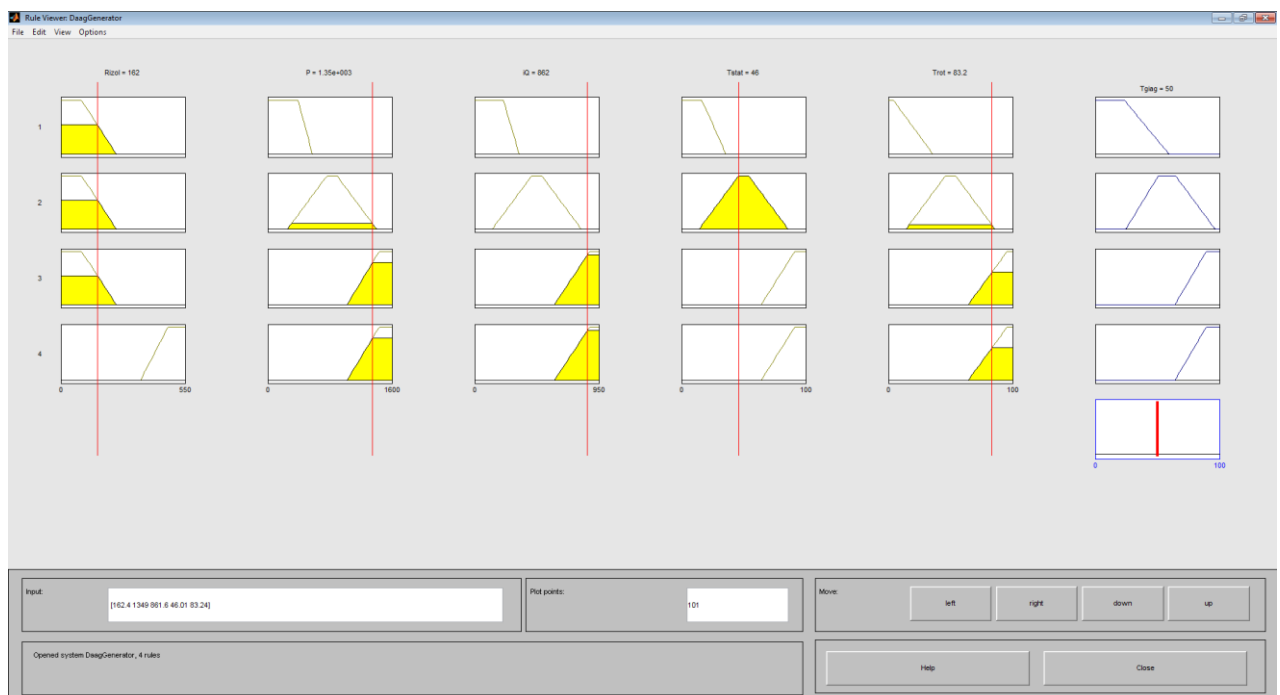


Рисунок 4.10- Аналіз впливу параметра ізоляції на стан СГ (T = 50 %)

Поверхня нечіткого виведення (рис.4.11) дозволяє встановити залежність значень вихідної змінної від значень вхідних змінних нечіткої моделі. Крім того, є можливість встановлення залежності вихідної змінної від однієї з вхідних. Отримання подібних залежностей може бути основою для програмування контролера або апаратної реалізації відповідного нечіткого алгоритму у формі таблиці рішень.

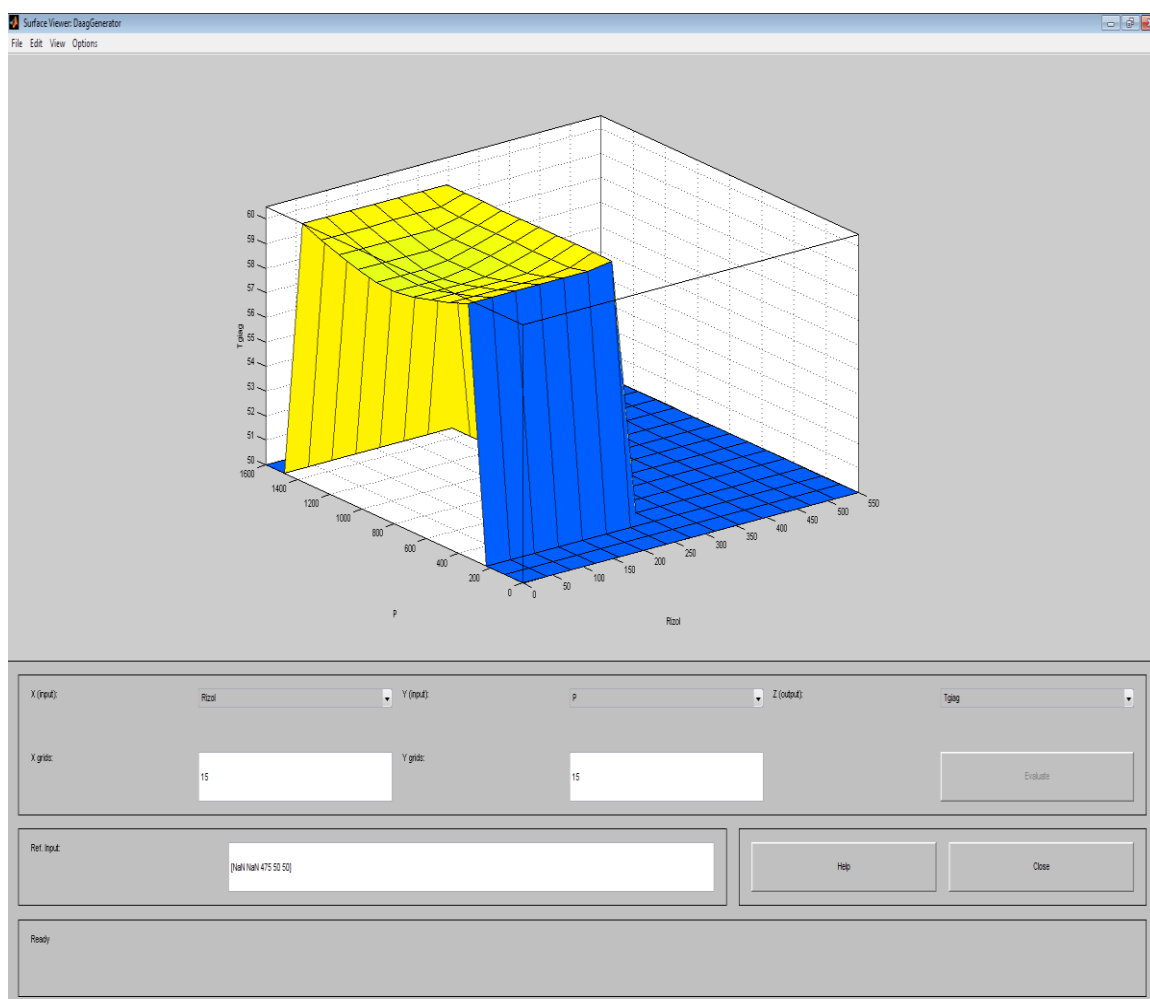


Рисунок 4.11 - Поверхня системи нечіткого виведення НЕС діагностики СГ

Висновки

Умови експлуатації суднових дизелів, на відміну стаціонарних, характеризуються нестабільністю. Це пов'язано з низкою факторів, характерних для морської експлуатації: бортова, кильова та вертикальна хитавиця; змінні вологість, температура та тиск навколишнього середовища; необхідність здійснення маневрів та пов'язані з цим змінні навантажувальні режими; частий перехід різні сорти палив: від легкого дизельного до важкого; вплив людського чинника. Враховуючи об'єктивно існуючу невизначеність, неповноту та нечіткість інформації про об'єкт СГД при розробці бази знань та механізмів виведення експертних систем, доцільно використовувати апарат нечіткої логіки, що дозволяє об'єктивно оцінити технічний стан та більш обґрунтовано приймати рішення щодо управління ремонтом суднового обладнання

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- розроблена нечітка експертна система оцінки технічного стану дизеля, система використовує алгоритм Мамдані та дозволяє з високим ступенем точності оцінити стан роботи дизеля.
- розроблено нечітку експертну систему оцінок технічного стану роботи синхронного генератора. Система використовує досвід та знання електромеханіків і дозволяє оцінити ступінь працездатності суднового генератора. Отримані результати можуть застосовуватися на морських судах у процесі експлуатації СГД, що доказує практичну цінність роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Heat Exchanger and Marine Cooling Systems // <https://www.marine-power.net>
2. Шостак В.П. Системи суднових дизельних установок. Навчальний посібник – Миколаїв: НУК, 2021 - 128 с.
3. Porteiro, J.; Collazo, J.; Patiño, D.; Míguez, J.L. Diesel engine condition monitoring using a multi-net neural network system with nonintrusive sensors. Appl. Ther. Eng. 2011, 31, 4097–4105.
4. Steklov, A.S. Neuro-fuzzy model for diagnosing the technical condition of a synchronous generator / A.S. Steklov, D.S. Podkovyrin // Chief power engineer. 2015. No. 11–12. pp. 34–42.
5. <https://www.kongsberg.com/maritime>
6. https://www.researchgate.net/publication/233644748_Fuzzy_logicbased_expert_system_for_diesel_engine_oil_analysis_diagnosis
7. Єпіфанов С.В., Кузнєцов В.Л. Богаєнко І.М. Синтез систем управління та діагностування газотурбінних двигунів. – К.: Техніка, 1998. – 312 с.
8. Леоненков А.Ю. Нечітке моделювання серед Matlab і fuzzyTech / А.Ю. Леоненків. - Харків.: БХВ, 2003. - 720 с.
9. Голіков В.А. Способи підвищення надійності операторів суднових енергетичних установок / В.А. Голіков, В.І. Капустін // Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник. Вип. 25. - Одеса: ОНМА, 2010. - С. 49 - 55.
10. Mamdani E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant / E. H. Mamdani // Proc. Inst. Elect. Eng. Contr. Sci., vol. 121, 1974. – P. 1585 – 1588.
11. Mamdani E. H. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller / E. H. Mamdani, S. Assilian // Int. J. Man-Mach. Stud., vol. 7, 1975.
12. Sugeno M. On stability of fuzzy systems expressed by fuzzy rules with singleton consequents / M. Sugeno // IEEE Trans. Fuzzy Systems. – 1997. – № 7. – P. 201 – 224.

13. Takagi T. Fuzzy identification of system and its applications to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 15, no. 1, 1985. – P. 166 – 132.
14. Zadeh L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. – 1965, №8. – P. 338 – 353.
15. Полянский С.К., Жерновий А.С. Лесько В.І., Тінченко С.Х. (За ред. проф. Полянського С.К.), Діагностика і технічне обслуговування дизелів. – К.: Либідь, 1995.–312с.
16. Россомеха О. І. Концептуальна модель системи технічного обслуговування і ремонту складних технічних систем // Розвиток транспорту – 2020. - №1(6). – С. 56 – 70. – ISSN: 2616 – 7360 – DOI: 10.33082/td.2020.1-6.05