МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Івано-Франківський національний технічний

університет нафти і газу

На правах рукопису

Назаренко Ігор Вікторович

УДК 681.516.75

МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРНИМИ СТАНЦІЯМИ НА ОСНОВІ УНІФІКОВАНИХ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

Спеціальність 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

дисертація на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Науковий керівник:
кандидат технічних наук,
доцент Николайчук М.Я.

Ідентичність всіх примірників дисертації
Засвідчую
Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради /А.П.Олійник/

Підпис А.П.Олійника засвідчую:
Вчений секретар /В.П.Процюк/
02.10.2015

Івано-Франківськ - 2015

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ……... 5

ВСТУП ……. 8

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРНИМИ СТАНЦІЯМИ ……... 16

1.1 Аналіз об'єктів і компонентів КС, як складових частин автоматизованих систем керування ……... 16

1.2 Сучасний стан апаратно-програмних засобів автоматизованих систем керування компресорними станціями ……..... 21

1.3 Задачі уніфікації автоматизованих систем керування компресорними станціями ……..... 31

1.4 Аналіз інструментарію та методів математичного аналізу для моделювання АСК КС ……..... 33

1.5 Вибір та обгрунтування напрямку досліджень ……..……. 45

РОЗДІЛ 2 ТОПОЛОГІЯ, ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ І МЕТОДИ УНІФІКАЦІЇ ПРОЕКТНИХ ПРОЦЕДУР АСК КС …… 47

2.1 Топології АСК КС на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів і технології розподіленого вводу-виводу ……..... 47

2.2 Формалізація і нормування інформаційних потоків САК КС …..… 66

2.3 Методи формування тестових сигналів для імітації режимів роботи АСК ……... 78

2.4 Удосконалений метод автоматичного генерування програмного коду PLC з імітаційних моделей САК ..……...……. 90

Висновки до розділу 2 ……..… 101

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ГПА КС НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ І УНІФІКАЦІЇ ПРОЦЕДУР …….. 103

3.1 Побудова моделі нагнітача ГПА КЦ та імітація режимів роботи компонентів АСК КС …… 103

3.2 Дослідження і розробка алгоритмів контролю технологічних параметрів на аномальність і наявність тренду …….. 114

3.3 Розробка алгоритмічного забезпечення та імітаційне моделювання системи автоматизованого керування компресорним цехом 121

3.4 Організація OPC-комунікації та людино-машинного інтерфейсу на базі SCADA-системи ……..... 127

Висновки до розділу 3 ……..……..…….. 135

РОЗДІЛ 4 АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ АСК КС ……..… 136

4.1 Виконавчі механізми запірної арматури компресорних станцій, як об’єкт керування ……..……..…… 136

4.2. Спосіб неперервного контролю стану електричних кіл керування виконавчого механізму ……..… 139

4.3 Алгоритмічне забезпечення керування виконавчими механізмами на технологічних об’єктах КС ……..……. 145

4.4 Імітаційне моделювання і тестування режимів роботи виконавчих механізмів КС ……. 154

4.5 Особливості впровадження уніфікованої САК ГРС ……..… 161

Висновки до розділу 4 ……..…….. 172

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ……..…….. 174

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛА ……..…….. 177

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

ДОДАТОК А УНІФІКОВАНІ ТИПИ І ДІАПАЗОНИ ВИМІРЮВАНЬ PLC SIMATIC S7 ……... 191

ДОДАТОК Б ЛІСТИНГИ ПРОГРАМ ОБРОБКИ ДАНИХ І РОЗРАХУНКІВ …….. 194

ДОДАТОК В ПРОЦЕДУРА ОРГАНІЗАЦІЇ ДВОНАПРАВЛЕНОЇ КОМУНІКАЦІЇ МІЖ SIMULINK-МОДЕЛЯМИ АСК І SCADA …….. 209

ДОДАТОК Г ФРАГМЕНТ ВИБІРКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ САК ГПА КС «БЕРДИЧІВ» .. 215

ДОДАТОК Д БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ВИКОНАВЧИМ МЕХАНІЗМОМ ЕППУ-4-1 З ПОСТІЙНИМ КОНТРОЛЕМ КІЛ КЕРУВАННЯ ……. 220

ДОДАТОК Ж Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в апараті управління і структурних підрозділах УМГ «Київтрансгаз» …… 224

ДОДАТОК З Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес ІФНТУНГ ……... 225

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АВ	автоматизація виробництва
АГРС	автоматизована газорозподільна станція
АПЗ	аппаратно-програмні засоби
АПО	апарат повітряного охолодження
АРМ ЗІ	автоматизоване робоче місце змінного інженера
АСК	автоматизована система керування
АСК ГРС	автоматизована система керування газорозподільною станцією
АСК КС	автоматизована система керування компресорною станцією
АСКОЕ	автоматична система комерційного обліку електроенергії
БДРЧ	база даних реального часу
БУКР	блок управління краном
ГВтаМ	газовимірювання та метрологія
ГВС	газовимірювальна станція
ГРС	газорозподільча станція
ГТС	газотранспортна система
ГТУ	газотурбінна установка
ВДС	відомча диспетчерська служба
ВМ	виконавчий механізм
ВЦН	відцентровий насос
ДК КС	диспетчерське керування компресорними станціями
ДПК	диспетчерський пункт керування
ДПКС	диспетчерські пункти компресорних станцій
ДПП	диспетчерський пункт підприємства
ЗВП	запасний вимірювальний пристрій
ІТ	інформаційні технології

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

ЕППУ	електропневматичний пристрій управління
ЕВП	енерго-водо постачання
ЕХЗ	електрохімічний захисту
КВП	контрольно-вимірювальні прилади
КП	контрольований пункт
КС	компресорна станція
КЦ	компресорний цех
ЛЕС	лінійно-експлуатаційна служба
ЛВУ МГ	лінійно-виробниче управління магістральних газопроводів
МГ	магістральний газопровід
МГУА	метод групового урахування аргументів
МНК	метод найменших квадратів
ЛЧ МГ	лінійна частина магістральних газопроводів
МУК	модуль управління краном
ОДУ	об’єднане диспетчерське управління
ПВВГ	пункт виміру витрати газу
ПСГ	підземне сховище газу
ПТЕ	правила технічної експлуатації
РАСК ТП	розподілені автоматизовані системи керування технологічними процесами
СКВ	середньо-квадратичне відхилення
САК	система автоматичного керування
ТВТ	турбіна високого тиску
ТНТ	турбіна низького тиску
ЦДП	центральний диспетчерський пункт
DDE	Dynamic Data Exchange - механізм взаємодії додатків в операційних системах Microsoft Windows і OS/2
OPC	OLE for Process Control – (сімейство програмних технологій, що надають єдиний інтерфейс для управління об’єктами автоматизації і технологичними процессами)

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

PLC	Programmable Logic Controller – (прогррамований логічний контролер)
PROFIBUS-DP	Process Field Bus – Distributed Peripheral (технологічна польова шина з розподіленою периферією)
FBD	Functional Block Diagramm – мова функціональних блоків стандарту IEC 61131
LAD	Ladder Diagram – мова релейної логіки
STL	Statement List – текстова мова стандарту IEC 61131
SCL	Structured Control Language - мова програмування високого рівня для PLC Simatic S7.
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition – (диспетчерське керування і збір даних)
WinCC	Windows Control Center – SCADA-система від «Siemens»

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

ВСТУП

Актуальність теми

Актуальність вирішення науково-технічних проблем на об’єктах газотранспортної системи (ГТС) України полягає в масштабності і стратегічному значенні газотранспортної галузі. Загальна протяжність газопроводів складає 38.55 тис. км (з них 22.16 тис. км магістральних і 16.39 тис. км газопроводів-відгалужень) з пропускною здатністю 287.7 і 178.5 млрд. $м^3$/рік на вході і на виході відповідно. ГТС України включає 72 компресорні станції (КС) зі 110 компресорними цехами (КЦ) і 702 газоперекачувальними агрегатами загальною потужністю 5443 МВт, 12 підземних сховищ газу (ПСГ) активною місткістю 31 млрд. $м^3$, 1455 газорозподільних станцій (ГРС), а кількість працюючих складає близько 28 тис. чол. Дані об’єкти входять в єдиний технологічний комплекс ПАТ «Укртрансгаз», що функціонує в безперервному режимі.

Особливо актуальними в даний час є задачі модернізації і підвищення безпеки експлуатації об’єктів ГТС. Аналіз, досвід і практика свідчать про необхідність вирішення даних задач в тісному взаємозв’язку із науково-технічними задачами із створення сучасних ефективних систем автоматичного керування (САК) на базі уніфікованих апаратно-програмних засобів і процедур управління, що в свою чергу потребує дослідження об’єктів управління, розробки методів оптимального управління, проектування, а також їх технічної реалізації і впровадження.

На даний час в ГТС України склалася ситуація, коли на технологічних об’єктах встановлено значну кількість САК, розроблених різними підрядними організаціями і фірмами виробниками. Значна частина вищеперерахованих систем не відповідає сучасним вимогам до відкритості, функціональності, уніфікації та надійності на всіх рівнях, морально застаріла і фізично зношена.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Враховуючи, що КС забезпечують основні режими функціонування об’єктів ГТС, а також є найбільш функціональними і складними в плані автоматизації, то задачі з модернізації і створення нових САК компресорними станціями (САК КС) на основі уніфікованих технологій можна віднести до першочергових в структурі ГТС України. В свою чергу методи і засоби вирішення вищевказаних задач вимагають наукового обґрунтування.

Вирішення проблем автоматизації процесів керування відображені в теоретичних і прикладних роботах вітчизняних вчених Горбійчука М.І., Грудза В.Я., Заміховського Л.М., Семенцова Г.Н., Ковалко М.П., Єршова В.Н., Герасименко В.П, Бойко Л.Г., Дьоміна А.Є. і ін., вчених ближнього зарубіжжя Козакевича В.В., Холщевнікова К.В., Ольштейна Е.А., Краснова Д.С., Тітенського В.І., Гузельбаева Я.З., Ахмедзянова А.М., Комісарова Г.А. і ін., а також закордонних вчених W. Jansen, W.C. Moffat, E.M. Greitzer, F.K. Moore, J. Fabri, I.R.Baher, H.Pearson та ін.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Представлені в роботі дослідження проводилися в рамках:

- держбюджетної теми кафедри «Комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) «Розроблення методики діагностування установок нафтогазової промисловості» (№ держ. реєстрації 0108U001367);

- виконання Розпорядження Президента України від 21.04.2005р. за № 990/2005-рп «Про Цільовий план Україна - НАТО на 2005 рік у рамках Плану дій Україна – НАТО» відповідно до п.3 «Забезпечення безпеки транзитних нафто- та газопроводів, створення електронної системи їх охорони» цілі І.2.12 «Посилення енергетичної безпеки», зокрема впровадження 15-ти диспетчерських пунктів компресорних станцій в УМГ «Київтрансгаз» (акт впровадження результатів дисертаційної роботи Назаренка І.В. в УМГ «Київтрансгаз від 12.10.2011 р.» (додаток Ж)).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Задачі, що вирішуються в роботі, відповідають «Концепції створення розподілених автоматизованих систем керування технологічними процесами (РАСК ТП) на підприємствах НАК «Нафтогаз України»», розробленої «ДП Науканафтогаз» на замовлення НАК «Нафтогаз України», «Енергетичній стратегії України на період до 2030 року» затвердженій КМ України.

Мета і задачі досліджень

Метою досліджень є підвищення оперативності і ефективності процесів керування розподіленими об’єктами ГТС шляхом узагальнення принципів і методів побудови автоматизованих систем керування компресорними станціями.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасний стан автоматизованих систем керування компресорними станціями;

- узагальнити принципи уніфікації компонентів і процедур керування для побудови і експлуатації АСК КС, визначити основні вимоги до функціональності, топології, компонентів і режимів їх роботи;

- формалізувати інформаційні потоки на всіх рівнях АСК КС та розробити базові топології АСК КС на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів;

- розробити імітаційні моделі АСК КС, методи формування тестових сигналів для імітації режимів роботи АСК та уніфікований метод автоматичного генерування програмних кодів PLC з імітаційних моделей;

- провести дослідження технологічних параметрів на аномальність і наявність тренду та на їх основі розробити алгоритмічне забезпечення АСК КС і людино-машинний інтерфейс на базі SCADA-системи;

- на основі створених моделей розробити алгоритмічне забезпечення керування виконавчими механізмами на технологічних об’єктах КС, спосіб неперервного контролю стану електричних кіл керування ними та дослідити режими роботи виконавчих механізмів;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- провести промислову апробацію окремих компонентів розроблених АСК КС.

Об’єкт дослідження

Об’єктом досліджень є інформаційні процеси в автоматизованих системах керування режимами роботи компресорних станцій.

Предмет дослідження

Методи, моделі і апаратно-програмні засоби (АПЗ) для організації уніфікованих автоматизованих систем керування компресорними станціями.

Методи дослідження

Для вирішення поставлених задач застосовувались методологія побудови автоматизованих систем керування, методи імітаційного моделювання, методи математичного аналізу і статистики, теорії інформації і цифрового зв’язку, теорії автоматичного управління та методи цифрової обробки сигналів.

При розробці АПЗ систем АСК КС застосовувались методи структурного, топологічного, функціонального і схемотехнічного проектування, методи технічної діагностики, методи об’єктно-орієнтованого програмування, а також методи моделювання та імітації режимів роботи компонентів систем управління.

Наукова новизна одержаних результатів

У дисертаційній роботі розв’язано актуальну наукову задачу побудови АСК КС на основі уніфікованих АПЗ і одержані такі наукові результати:

1. Вперше створено інформаційну модель для імітації і дослідження режимів роботи САК КС на основі експериментальних даних і запропонованих методів формування тестових сигналів, що суттєво спрощує процедури розробки і тестування САК КС на базі SCADA-систем та підвищує рівень їх готовності на етапі проектування.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

2. Вперше створено імітаційну модель САК виконавчим механізмом технологічних об’єктів КС на основі графів моделей і спосіб для контролю кіл керування виконавчим механізмом в режимах очікування і керування для дослідження режимів роботи та розробки ефективних алгоритмів керування виконавчими механізмами.

3. Удосконалено наскрізну класифікацію технологічних параметрів та їх ідентифікаторів для об’єктів УМГ «Київтрансгаз», що спростило і уніфікувало процедури обробки параметрів технологічних процесів.

4. Удосконалено метод інтеграції моделей регуляторів САК КС в апаратні PLC шляхом автоматичного генерування програмного коду PLC з імітаційних моделей, що суттєво зменшує кількість помилок при традиційному складанні програмних кодів та зменшує час на їх розробку і валідацію.

5. Одержало подальший розвиток дослідження методів уніфікації АСК КС, в результаті чого запропоновані оптимальні топологічні і функціональні рішення їх побудови, використання яких дозволить удосконалити і уніфікувати проектні процедури і процеси керування.

6. Одержали подальший розвиток методи контролю технологічних параметрів на «аномальність» та «наявність тренду» на основі врахування статистичних критеріїв, що дозволило зменшити експлуатаційні витрати за рахунок виключення випадкових зупинок ГПА і часу простоїв технологічного обладнання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

- розроблено резервовану топологію САК КС з розподіленим вводом-виводом на базі уніфікованих АПЗ, що дозволяє у повній мірі застосовувати сучасні інформаційні технології для побудови АСК з розширенням їх функціональних можливостей;

- розроблено алгоритмічне забезпечення цехового регулятора і людино-машинний інтерфейс АСК КС на базі SCADA-системи WinCC для забезпечення режиму максимальної комерційної продуктивності КЦ;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- створено інструментарій у вигляді апаратно-програмного комплексу та алгоритмічне забезпечення на базі уніфікованих АПЗ Simatic S7, що дозволяє досліджувати режими роботи виконавчих пристроїв запірної арматури КС;

- розроблено алгоритм «Захист», використання якого дозволяє підвищити рівень безпечної експлуатації ГРС при нештатних ситуаціях в газорозподільчих мережах низького тиску;

- результати дисертаційної роботи впроваджено в апараті управління і структурних підрозділах УМГ «Київтрансгаз» (акт впровадження від 12.10.2011 р.).

Крім того, результати досліджень використані при розробці «Програми розвитку систем і засобів автоматизації й телемеханіки ПАТ «Укртрансгаз» - 2014) та концепції «Концептуальні технічні рішення та архітектура побудови АСК ТП ПАТ «Укртрансгаз» - 2014), в яких автор приймав безпосередню участь, а також впроваджені в навчальний процес ІФНТУНГ при викладанні дисциплін «Автоматизоване проектування систем управління і діагностування для об'єктів нафтогазового комплексу» та «Системи передавання даних» (акт впровадження від 16.06.2015 р. (додаток З)).

Особистий внесок здобувача

Основні положення та результати дисертаційної роботи одержані автором самостійно [3, 5, 15]. У співавторстві удосконалено алгоритми, проведено моделювання і досліджено режими роботи уніфікованих САК виконавчими механізмами об'єктів ГТС [1]; одержано і оброблено експериментальні дані, побудовано моделі і досліджено режими роботи ГПА на основі методу групового урахування аргументів [2]; запропоновано структуру організації систем диспетчерського керування (ДК)КС, обгрунтовано технічні вимоги з функціональності, уніфікації і спеціальні вимоги для ефективного вирішення задач контролю, діагностування і управління на базі уніфікованих АПЗ концерну «Siemens» [4]; проаналіовано склад і функціональне призначення програмних модулів SCADA WinCC для комплексного вирішення задач і уніфікації процедур ДККС, розроблено проект САК ГРС з Web-інтерфейсом,

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

досліджено режими роботи компонентів системи ДККС шляхом імітації роботи АПЗ на основі запропонованих тестових сигналів [6]; для вирішення задач побудови АСК об'єктами ГТС досліджено процедури генерування функціональних блоків для PLC з управляючих алгоритмів [7]; розроблено функціональні і алгоритмічні рішення на основі резервованої технології розподіленого вводу/виводу в САК технологічним обладнанням КЦ [8]; запропоновано, розроблено функціональні рішення і виконано апробацію способу неперервного контролю стану електричних кіл керування виконавчого механізму [9]; запропоновано і обгрунтовано структурні рішення розподіленого вводу-виводу даних в системах автоматичного керування САК технологічним обладнанням КЦ [10]; запропоновано шляхи удосконалення і підвищення ефективності роботи САК виконавчими механізмами на технологічному обладнанні КС з постійним контролем кіл керування [11]; обгрунтовано необхідність і визначено задачі моделювання та імітації компонентів систем ДККС на базі АПЗ «Siemens» і пакету «MatLab» [12]; вирішено практичні задачі формування тестових сигналів для імітації режимів роботи АСК [13]; розроблено архітектуру, формалізовано інформаційні потоки і визначено основні технічні характеристики комплексу АПЗ передачі даних для лінійної частини (ЛЧ) МГ [14]; проаналізовано архітектуру і параметри систем промислового зв'язку на основі стандартів (MPI, PROFIBUS, AS-Interface, Industrial Ethernet), визначено основні принципи і способи організації каналів зв'язку та їх тестування в системах ДККС [16].

Апробація результатів досліджень

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на:

- 5-й Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерні системи в автоматизації виробничих процесів» (м. Хмельницький, 2007);

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- XXIV(I), XXVI(II), XXVIII(III) Міжнародних школах-семінарах «Методи і засоби технічної діагностики в техніці і соціумі» (м. Івано-Франківськ, 2007, 2009, 2011);

- 5-й Міжнародній науково-технічній конференції і виставці «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання» (м. Івано-Франківськ, 2008);

- ІІ-му всеукраїнському науково-практичному семінарі «Сучасні інформаційні технології в дистанційній освіті» (СІТвДО-2013) (м. Івано-Франківськ, 2013);

- Міжнародній науково-технічнійї конференції «Нафтогазова енергетика 2013» - ІФНТУНГ, (Івано-франківськ. – 2013);

- ІІ-й міжнародній науковій конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС – 2013)» - ВНТУ, (Вінниця, – 2013).

Публікації

Основні матеріали дисертації викладено у 16 наукових публікаціях, серед яких 8 статей у виданнях (3 з них одноосібні), що входять до переліку фахових видань МОН України, з яких 2 у виданнях, зареєстрованих в наукометричних базах BASE, Index Copernicus, Google Scholar, РИНЦ і 1 стаття у закордонному журналі, зареєстрованому в наукометричних базах Google Scholar, РИНЦ та 1 патент України.

Структура та обсяг роботи

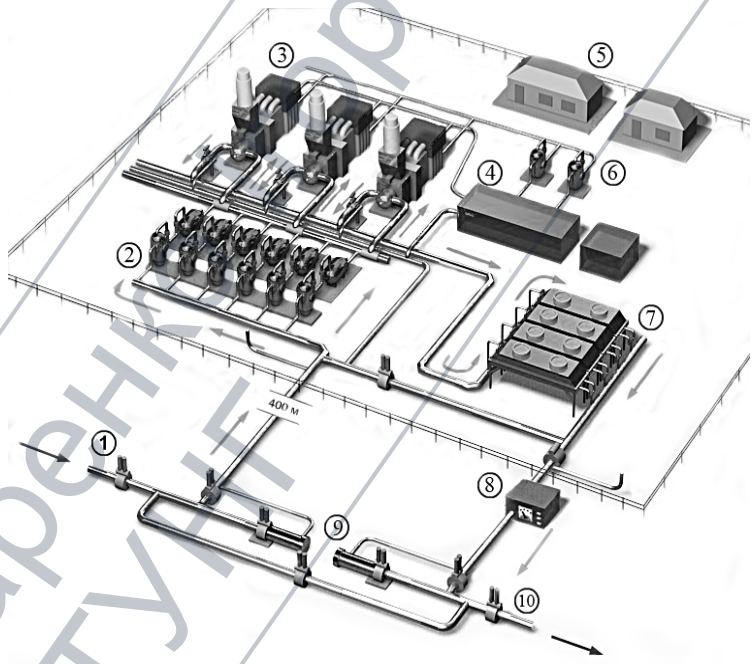
Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи і висновки до кожного розділу, загальні висновки, викладені на 176 сторінках тексту; 113 рисунків; 20 таблиць; список використаних джерел зі 123 найменувань; 7 додатків на 35 сторінках.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРНИМИ СТАНЦІЯМИ

1.1 Аналіз об’єктів і компонентів КС, як складових частин автоматизованих систем керування

Компресорні станції є основною складовою газотранспортної системи України, які визначають ефективність її експлуатації та включають один або більше компресорних цехів [1-6]. На рис. 1.1 наведено функціональну схему КС з одним компресорним цехом. Склад допоміжного обладнання для багатоцехових КС обумовлюється проектною документацією.



1 – ділянка газопроводу до КС; 2 – установки очищення та осушки газу;
3 – компресорний цех; 4 – установки підготовки паливного, пускового та імпульсного газу;
5 – диспетчерський пункт КС з системами керування та автоматики;
6 – установки очищення паливного газу; 7 – установки охолодження газу;
8 – пункт вимірювання витрат газу;
9 – пункт прийому та впуску очищувального поршня; 10 – ділянка газопроводу після КС.

Рисунок 1.1 - Функціональна схема компресорної станції

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Не зупиняючись на розгляді номенклатури обладнання, що входить до складу КС, в роботі значну увагу приділено аналізу автоматизованих систем керування (АСК), телемеханіки та автоматики КС.

Параметри КС, що контролюються АСК визначаються її технологічною схемою. Основними показниками роботи КС є тиск газу на її вході і виході та пропускна здатність КС [2].

До складу компресорного цеху входять [4]:

- газоперекачувальні агрегати (із трубопровідною обв'язкою, приладами електропостачання, контролю і керування, інше);

- зовнішня газова обв'язка відцентрованих нагнітачів чи поршневих компресорів;

- допоміжні установки й устаткування (масляне господарство, пересувна установка для промивання компресорів, інше).

Для забезпечення заданої продуктивності (витрати і тиску газу на виході) використовують рівнобіжне (для збільшення витрати), послідовне (для збільшення ступеня стиску) чи змішане з'єднання окремих ГПА.

Керування КС дійснюється на двох рівнях: агрегатному і цеховому. На цеховому рівні, виходячи із завдання, стану агрегатів, параметрів газу, що перекачується, визначається схема з’єднань агрегатів, задаються параметри частоти обертання для кожного агрегату. Перелік основних загальностанційних (цехових) параметрів, що потребують контролю інформаційно-керуючими системами визначаються правилами технічної експлуатації (ПТЕ) [7] наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні технологічні параметри компресорного цеху

№	Найменування параметра	Примітка
1	Тиск газу на вході КС (КЦ)	ПТЕ п.8.4
2	Тиск газу на виході КС (КЦ) до апаратів повітряного охолодження (АПО) газу	ПТЕ п.8.4
3	Тиск газу на виході КС (КЦ) після АПО	ПТЕ п.8.4
4	Температура газу на вході КС (КЦ)	ПТЕ п.8.4
5	Температура газу на виході КС (КЦ) до АПО	ПТЕ п.8.4
6	Температура газу на виході КС (КЦ) після АПО	ПТЕ п.8.4.4
7	Температура атмосферного повітря	ПТЕ п.15.2.11

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження табл. 1.1

8	Атмосферний тиск	ПТЕ п.15.211
9	Щільність газу	ПТЕ п.8.4.4
10	Нижча теплотворна здатність газу	ПТЕ п.8.4.4
11	Витрати паливного газу по КЦ	ПТЕ п.8.2.5
12	Витрати електроенергії	ПТЕ п.8.2.5
13	Витрати тепла	ПТЕ п.8.2.5
14	Схема підключення ГПА	ПТЕ п.8.4.4
15	Стан крану 7 (відкритий/закритий/несправність)	ПТЕ п.8.2.8
16	Стан крану 8 (відкритий/закритий /несправність)	ПТЕ п.8.2.8
17	Стан крану 17 (відкритий/закритий /несправність)	ПТЕ п.8.2.8
18	Стан крану 18 (відкритий/закритий /несправність)	ПТЕ п.8.2.8
19	Стан крану 20 (відкритий/закритий/несправність)	ПТЕ п.8.2.8
20	Кількість ГПА в роботі	ПТЕ п.8.4.4
21	Кількість ГПА в резерві	ПТЕ п.8.4.4
22	Кількість ГПА в ремонті	ПТЕ п.8.4.4
23	Стан АПО газу (робота/резерв/ремонт)	ПТЕ п.8.4.4

КЦ та його складові характеризуються значною кількістю параметрів, на основі яких розраховуються такі основні показники [4, 6] (сумарна потужність ГПА КЦ; середній по КЦ політропний коефіцієнт корисної дії (ККД) відцентрових нагнітачів (ВЦН); середній по КЦ ККД газотурбінних установок (ГТУ) ГПА; об’єм газу, транспортованого від початку доби; сумарна об’ємна та комерційна продуктивність ВЦН КЦ; сумарна витрата паливного газу ГТУ; середні витрати паливного газу ГТУ КЦ).

ГПА є основним технологічним обладнанням, яке забезпечує компримування природного газу на компресорних станціях і підземних сховищах газу.

ГПА складається з [8, 9] (нагнітача природного газу; приводу нагнітача; всмоктувального і випускного пристроїв (у випадку газотурбінного приводу); системи автоматики; системи маслозабезпечення; паливноповітряних та мастилових комунікацій, а також допоміжного обладнання).

В роботі розглядається лише ГПА з газотурбінним приводом на базі газотурбінних двигунів авіаційного і суднового типів.

Системи автоматичного керування розроблені для кожного типу ГПА та мають широкий набір технологічних параметрів і сигналізації, який дозволяє

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

ефективно відслідковувати роботу установки. На відхилення режиму роботи ГПА можуть вказувати такі параметри [10, 11]:

Для силової частини:

- частота обертання і середній індикаторний тиск;
- частота обертання і годинна витрата палива.

Для компресорної частини:

- швидкість обертання і годинна продуктивність;
- тиск газу на вході і виході;
- середній індикаторний тиск.

В табл. 1.2 наведено основні технологічні параметри ГПА.

Таблиця 1.2 - Основні технологічні параметри ГПА

№	Найменування параметра	Примітка
1	Тиск газу на вході нагнітача	ПТЕ п.8.4.4
2	Тиск газу на виході нагнітача	ПТЕ п.8.4.4
3	Температура газу на вході нагнітача	ПТЕ п.8.4.4
4	Температура газу на виході нагнітача	ПТЕ п.8.4.4
5	Частота обертів турбіни низького тиску (ТНТ)	ПТЕ п.8.4.4
6	Частота обертів турбіни високого тиску (ТВТ)	ПТЕ п.8.4.4
7	Частота обертів нагнітача	ПТЕ п.8.4.4
8	Температура продуктів згоряння газу за ТНТ	ПТЕ п.8.4.4
9	Температура продуктів згоряння газу за ТВТ	ПТЕ п.8.4.4
10	Перепад тиску газу на конфузорі	ПТЕ п.8.4.4
11	Перепад тиску масло-газ	ПТЕ п.8.4.4
12	Температура повітря в вихлопному газоході	ПТЕ п.8.4.4
13	Температура масла на виході ТНТ	ПТЕ п.8.4.4
14	Температура масла на виході ТВТ	ПТЕ п.8.4.4
15	Температура масла на виході нагнітача	ПТЕ п.8.4.4
16	Ступінь стиснення нагнітача	ПТЕ п.8.4.4
17	Запас за помпажем	ПТЕ п.8.4.4
18	Потужність на муфті	ПТЕ п.8.4.4
19	Комерційна продуктивність	ПТЕ п.8.4.4
20	Об’ємні витрати паливного газу	ПТЕ п.8.4.4
21	Фактичні витрати паливного газу	ПТЕ п.8.4.4
21	Коефіцієнт корисної дії	ПТЕ п.8.4.4
23	Стан ГПА (робота/резерв/ремонт/аварія)	ПТЕ п.8.4.4
24	Час роботи за добу	ПТЕ п.8.4.4
25	Напрацювання з початку експлуатації	ПТЕ п.8.4.4
26	Напрацювання з останнього кап. ремонту	ПТЕ п.8.4.4
27	Розрідження на вході компресора	ПТЕ п.8.4.4

Кравчик Ігор Вікторович

Робота ГПА характеризується складною взаємодією підсистем (залежно від конструкції і призначення), які в сукупності складають агрегат. Загалом, оцінка технічного стану нагнітача можлива тільки на основі вимірювання та використання методів і засобів параметричної і віброакустичної діагностики [12-18]. Розрахунки режимів роботи ГПА неможливі без визначення характеристик газового потоку (розрахункових значень компонентного складу газу, контролю технологічних параметрів та інших чинників), а також оцінки технічного стану ГПА. Останнє вимагає одночасного вимірювання та реєстрації значної кількості функціонально і стохастично взаємопов'язаних параметрів.

До основних параметрів відцентрового нагнітача, які використовуються в АСК КС відносяться [19-21]:

1) паспортні параметри нагнітача: облікові дані (назва нагнітача, шифр в базі даних); ознака «Повнонапірний»;

2) номінальні параметри: частота обертання; тиск газу на вході; тиск на виході; об'ємна продуктивність; комерційна продуктивність; ступінь стиснення; політропний ККД;

3) обмеження: мінімальна ступінь стиснення; максимальна ступінь стиснення;

4) параметри стану: коефіцієнт технічного стану за потужністю; коефіцієнт механічних втрат (механічний ККД);

5) параметри газу: щільність газу при стандартних умовах; нижня питома об'ємна теплота згоряння; молярна частка діоксиду вуглецю, азоту;

6) параметри зовнішнього середовища: температура повітря на вході ГТУ; барометричний тиск.

Виходячи з викладеного вище, визначено основні компоненти та технологічні параметри КС, які є основою для побудови АСК КС.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

1.2 Сучасний стан апаратно-програмних засобів автоматизованих систем керування компресорними станціями

Склад апаратно-програмних засобів АСК КС формувався протягом тривалого часу і сьогодні представляє собою наведену нижче (рис. 1.2) організаційну структуру [22].

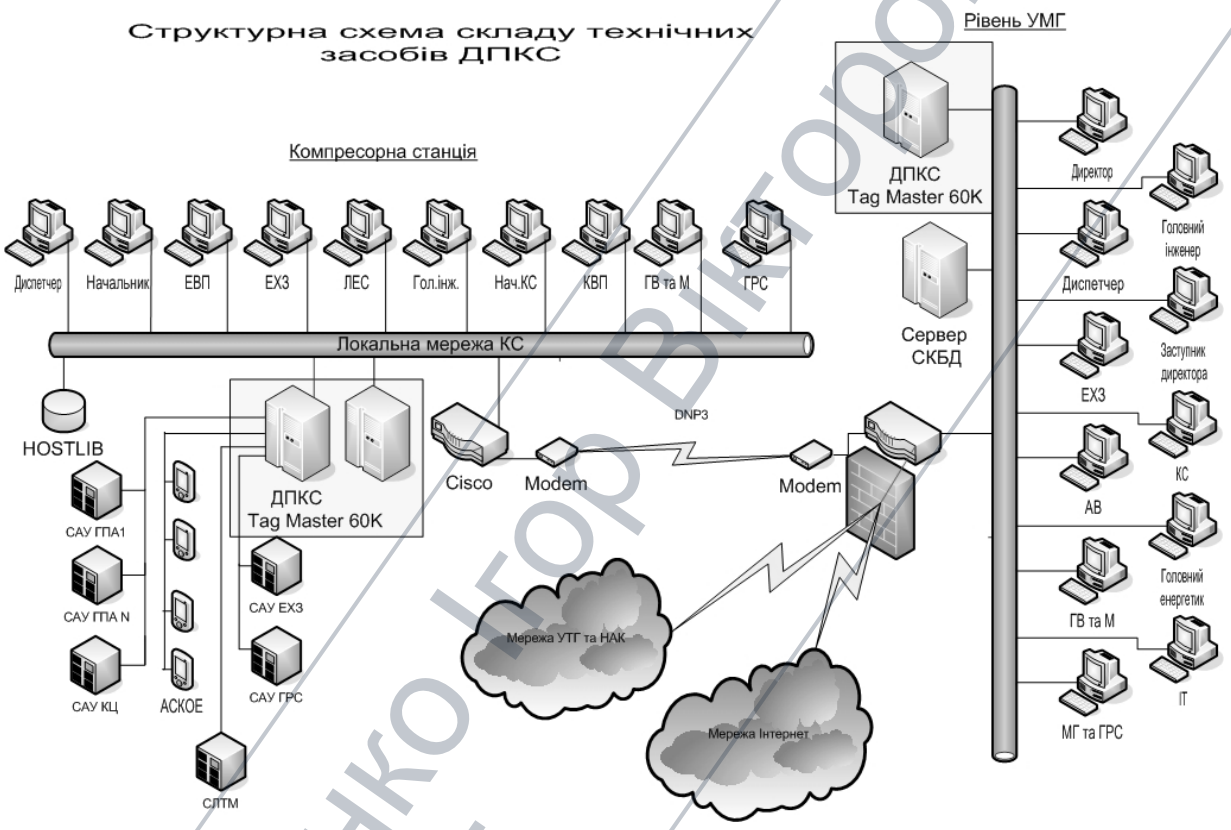


Рисунок 1.2 – Склад аппаратно-програмних засобів ДП КС

Як видно з рис. 1.2, керування технологічним процесом транспортування газу є багаторівневою процедурою. Розподіл функцій керування між рівнями відбувається наступним чином.

Нижній рівень керування забезпечується реалізацією функцій безпосереднього керування основним та допоміжним обладнанням компресорного цеху. Функції керування даного рівня реалізуються засобами локальних САК.

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

Рівень оперативного керування КЦ реалізовано на базі апаратно-програмних засобів автоматизованого робочого місця змінного інженера (АРМ ЗІ). АРМ ЗІ КЦ є основним постом керування, що забезпечує оперативне керування технологічним процесом транспортування газу, контроль стану технологічного обладнання, своєчасне ухвалення рішення та вирішення позаштатних ситуацій.

Автоматичне керування технологічним режимом компресорного цеху здійснюється апаратно-програмними засобами цехового контролера, який забезпечує стабілізацію на рівні уставки поточного значення вихідного параметру шляхом обчислення та передачі в САК ГПА уставок по частоті обертання ВЦН.

Рівень керування лінійно-виробничим управлінням (ЛВУ) є верхнім рівнем керування технологічним процесом та забезпечує в першу чергу функціонування диспетчерського керування технологічними процесами та об’єктами ЛВУ у складі АСК ТП ЛВУМГ.

Аналіз існуючих апаратно-програмних засобів для автоматизації технологічних процесів КС показав [22-28], що значна їх номенклатура є морально застарілою, має незначний залишковий ресурс, низький рівень автоматизації і проблеми з несумісністю мереж передачі даних на вищі рівні керування. При цьому АСК з розвинутою системою передачі даних на вищі рівні складають 41% для усіх КЦ.

За рівнем диспетчерського керування можна виділити наступні недоліки існуючих АСК КС:

- системи реального часу існують у деяких ЛВУМГ тільки на об’єктах нижнього рівня (КЦ, ГРС, ГВС) (для багатьох об’єктів передача інформації диспетчеру про споживачів газу здійснюється за допомогою телефонного зв’язку, далі зібрана інформація електронною поштою передається у вигляді файлів до вищих рівнів керування);

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- для збереження інформації застосовуються невзаємопов’язані бази даних, які розроблені з використанням локальних систем керування базами даних;

- зв’язок між різними рівнями керування здійснюється по аналогових каналах відомчого зв’язку (така передача даних є ненадійною через нестабільність каналів зв’язку та їх малу пропускну здатність);

- відсутні спеціальні апаратно-програмні засоби для формування, передачі та реалізації команд і завдань диспетчерського графіка на всіх рівнях керування (ДП УМГ, ДП ЛВУМГ, САК ГРС/ГРП).

На даний час оператори диспетчерських пунктів нижнього рівня (ДП КС) отримують інформацію про стан технологічних об’єктів шляхом візуального огляду первинних приладів (індикаторів) або через засоби зв’язку (з віддалених об’єктів контролю). При наявності АСК або іншої інформаційної системи, огляду підлягають екрани візуалізації. Основні параметри технологічного процесу записуються оператором в журнал. Середня кількість параметрів, що контролюються по одній КС становить близько 2240 і включає параметри працюючих ГПА, загальноцехових вимірювань, ГРС, кранових площадок, працюючих свердловин та пунктів виміру витрати газу (ПВВГ). З них в диспетчерські журнали в паперовому або в електроному вигляді вводиться в середньому близько 230 параметрів. На верхній рівень керування передається 14 параметрів КС та по 3 параметри з кожної ГРС (тиск на вході і виході та витрата газу). Час виконання однієї операції зі збору даних (ввід в систему одного параметра), його обробка та перевірка диспетчером складає до 0.2 хв.

Оператори диспетчерських пунктів рівня ЛВУМГ узагальнюють інформацію з рівнів підлеглих ДП та вводять її в базу даних програми «АРМ диспетчера».

Один раз в дві години, використовуючи «АРМ диспетчера ЛВУ», оператор ініціює передачу файлів з введеною інформацією на верхній рівень керування. Передача виконується поштовими програмами («АСТРА», cc-Mail) через модем та комутовані лінії відомчої телефонної мережі або через виділені

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

канали зв’язку корпоративної мережі Ethernet. Крім того, раз на добу додатково передаються параметри лабораторно-хімічних досліджень складу газу та добові витрати газу ГРС, ПВВГ та ПСГ. Середній час встановлення зв’язку між робочими станціями складає від 10-ти сек. до 2-х хв.

Оператори диспетчерських пунктів рівня УМГ забезпечені сервером, до якого підключено модем та корпоративний мережевий канал. На сервері виконується поштова програма, налагоджена для прийому даних від підпорядкованих ДП ЛВУ. Крім того, у оператора ДП УМГ встановлено робочу станцію, на якій виконується програма «АРМ диспетчера УМГ», яка копіює з сервера та об’єднує прийняті дані з декількох ЛВУ в один файл та готує необхідні дані для передачі на рівень центрального диспетчерського пункту (ЦДП). У випадку готовності даних, оператор ДП УМГ ініціює передачу, аналогічно до оператора ДП ЛВУ. Час виконання операцій з обробки та перевірки даних диспетчером ДП УМГ складає до 5-ти хв.

У випадку позаштатних ситуацій алгоритм роботи діючої системи змінюється. Оператор відомчої диспетчерської служби (ВДС), в зоні відповідальності якого виникла нештатна ситуація, телефонним зв’язком повідомляє про виникнення такої ситуації на ВДС верхнього рівня. Час оповіщення складає близько 3-х хв.

На рівні ЛВУМГ дані конвертуються в базу даних «Oracle», а далі через канали корпоративної мережі ПАТ «Укртрансгаз» передаються на рівень УМГ і об’єднаного диспетчерського управління (ОДУ) ПАТ «Укртрансгаз» [29-31].

Дані передаються в ОДУ і зберігаються в файлах формату «Hostlib», при цьому, поряд з миттєвими значеннями параметрів витрат доступні погодинні і подобові значення.

Таким чином, діюча інформаційна система ПАТ «Укртрансгаз» в частині збору інформації про хід технологічних процесів транспортування і розподілу газу є сукупністю різнотипних інформаційно-керуючих систем, що мають дані різної структури і часового зрізу, а кожна з таких систем має свій інтерфейс надання інформації операторам диспетчерської служби ПАТ «Укртрансгаз».

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Технологічна інформація на нижньому рівні керування формується різними SCADA-системами (Supervisory Control and Data Acquisition - системи диспетчерського керування і збору даних) (SCX, InTouch, Citect, WinCC та ін.), інформаційними системами (Інфо-КЦ і ін.) та системами обліку газу (ASK і ін.). Передача даних на верхній рівень організована через корпоративні або виділені канали зв'язку і реалізована в рамках системи телемеханіки «Serck Controls», а також за допомогою реплікації бази даних «Oracle».

Кожен рік в ПАТ «Укртрансгаз» впроваджується все більше АСК КС, лінійною частиною і систем диспетчерського керування ЛВУМГ, інформація з яких не передається в автоматичному режимі на верхній рівень керування, за рахунок «закритості» для модернізації, відсутності ліцензій на додаткові підключення, відсутності інструментів розробки та інш., або є морально застарілими (наприклад система «Serck Controls SCX5»).

В свою чергу, системи АСК ТП КС і ЛВУ, які в останні роки почали впроваджуватись, реалізовані на сучасних аппаратно-програмних засобах, здійснюють практично повний збір даних від об’єктів керування і можуть, як передавати інформацію на верхній рівень, так і приймати (виконувати) команди керування з верхнього рівня.

Таким чином, можна константувати, що на підприємствах ПАТ «Укртрансгаз» експлуатуються, як старі системи, створенні багато років тому, так і сучасні системи. Для прикладу, в табл. 1.3 наведено стан автоматизації КС УМГ «Київтрансгаз» станом на 2014 р.

Існуючі САК КС, як правило, створювалися поетапно і вирішували тільки локальні задачі на момент їх розробки та впровадження. Найчастіше при створенні даних систем не враховувалися такі актуальні сьогодні принципи побудови, як уніфікація, надійність, відкритість. Дана ситуація призводить до того, що інформація про виробничі процеси або недостовірна, або недостатньо повна, або недоступна для диспетчерів, що приймають рішення, або доступна у формі, яка не дозволяє використовувати сучасні методи комплексного аналізу і прийняття рішень.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Таблиця 1.3 - Стан автоматизації компресорних станцій УМГ «Київтрансгаз» на 2014 р.

№ п/п	УМГ	Назва КС (ДКС, СПЗГ)	КЦ	№ цеху	№ ГПА	Тип ГПА	Тип двигуна	Тип агрегатної автоматики	Рік вводу	Поста-чальник	Розроб-ник
1	КТГ	Диканька	Ц001	1	1,3, 4-6	ГПА-Ц-6,3С	ДТ-71П	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2000	ІНЕК	ІНЕК
2	КТГ	Диканька	Ц001	1	2	ГПА-Ц-6,3С	ДТ-71П	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	1999	ІНЕК	ІНЕК
3	КТГ	Диканька	Ц001	1	7	ГПА-Ц-6,3С	ДТ-71П	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2001	ІНЕК	ІНЕК
4	КТГ	Лубни	Ц002	1	1-6	ГТ-750-6	СТ	СЦКУ	1974	-	-
5	КТГ	Лубни	Ц002	1	7-9	ГТ-750-6	СТ	ІНЕК Fanuc 9030 scada ІНЕК	2003	ІНЕК	ІНЕК
6	КТГ	Лубни	Ц002	1	10-12	ГТ-750-6	СТ	ІНЕК Fanuc 9030 scada ІНЕК	2001	ІНЕК	ІНЕК
7	КТГ	Яготин	Ц003	1	1-6	ГТ-750-6	СТ	Штатна НЗЛ релейна система	1974	-	-
8	КТГ	Яготин	Ц003	1	7-11	ГТ-750-6	СТ	Штатна НЗЛ релейна система	1975	-	-
9	КТГ	Яготин	Ц003	1	12	ГТ-750-6	СТ	Штатна НЗЛ релейна система	1978	-	-
10	КТГ	Глушківська	Ц004	1	1,4,5	ГТН-6	СТ	АТТІЗ Octagon 5066 scada АТТІЗ	2007	Енергоальянс	АТТІЗ
11	КТГ	Глушківська	Ц004	1	2	ГТН-6	СТ	А-705-15-04	1987	-	-
12	КТГ	Глушківська	Ц004	1	3	ГТН-6	СТ	АТТІЗ Octagon 5066 scada АТТІЗ	2006	Енергоальянс	АТТІЗ
13	КТГ	Глушківська	Ц004	1	6	ГТН-6	СТ	АТТІЗ Octagon 5066 scada АТТІЗ	2010	Енергоальянс	АТТІЗ
14	КТГ	Суми	Ц005	1	1-10	СТД-4000	електропривод	Електра-1-3	1985	-	-
15	КТГ	Ромни-1	Ц006	1	1,2,4	ГТН-6	СТ	А-705-15-04	1986	Енергоальянс	АТТІЗ
16	КТГ	Ромни-1	Ц006	1	3	ГТН-6	СТ	АТТІЗ Octagon 5066 scada АТТІЗ	2010	Енергоальянс	АТТІЗ
17	КТГ	Ромни-1	Ц006	1	5	ГТН-6	СТ	АТТІЗ Octagon 5066 scada АТТІЗ	2006	Енергоальянс	АТТІЗ
18	КТГ	Ромни-1	Ц006	1	6	ГТН-6	СТ	АТТІЗ Octagon 5066 scada АТТІЗ	2009	Енергоальянс	АТТІЗ
19	КТГ	Ромни (КС-32)	Ц007	1	1-3	ГТН-25І	MS 5002	Спідтронік	1984	-	-
20	КТГ	Ромни КС-32П	Ц008	1	1	ГПА-25.МН80	ДН-80Л	CCC, Series IV	1998	Зоря-Машпроект	Зоря-Машпроект
21	КТГ	Ромни КС-32П	Ц008	1	2	ГПА-25.МН80	ДН-80Л	CCC, Series IV	2003	Зоря-Машпроект	Зоря-Машпроект
22	КТГ	Ромни КС-32П	Ц008	1	3	ГПА-25.МН80	ДН-80Л	CCC, Series IV	2005	Зоря-Машпроект	Зоря-Машпроект
23	КТГ	Ромни (КС-3)	Ц009	1	1	ГПУ-10-01	ДР-59Л	Турбомастер-Р59 Fanuc 9070, 9030 Sitec	2003	УЦЕБОП	НДПІАСУ, вібр. Metrix
24	КТГ	Ромни (КС-3)	Ц009	1	2-4, 6-7	ГПУ-10-01	ДР-59Л	А-705-15-08	1986	-	-

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження табл. 1.3

№ п/п	УМГ	Назва КС (ДКС, СПЗГ)	КЦ	№ цеху	№ ГПА	Тип ГПА	Тип двигуна	Тип агрегатної автоматики	Рік вводу	Поста-чальник	Розроб-ник
25	КТГ	Ромни (КС-3)	Ц009	1	5	ГПД-10МН70	ДН70	CAT-02 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	2005	Укргазтех	Нова Техніка
26	КТГ	Боярка	Ц010	1	1-12	СТД-4000	електропривод	ЕРА	1974	-	-
27	КТГ	Бердичів	Ц011	1	1	ГТК-10-4	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	2001	Укргазтех	Нова Техніка
28	КТГ	Бердичів	Ц011	1	2	ГТК-10-4	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	1998	Укргазтех	Нова Техніка
29	КТГ	Бердичів	Ц011	1	3	ГТНР-10	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	1999	Укргазтех	Нова Техніка
30	КТГ	Бердичів	Ц011	1	4	ГТК-10-4	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	1997	Укргазтех	Нова Техніка
31	КТГ	Бердичів	Ц011	1	5-6	ГТК-10-4	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	2004	Укргазтех	Нова Техніка
32	КТГ	Красилів	Ц012	1	1,5	ГТК-10-4	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	2005	Укргазтех	Нова Техніка
33	КТГ	Красилів	Ц012	1	2,6	ГТНР-10	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	2004	Укргазтех	Нова Техніка
34	КТГ	Красилів	Ц012	1	3	ГТК-10-4	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	2006	Укргазтех	Нова Техніка
35	КТГ	Красилів	Ц012	1	4	ГТК-10-4	СТ	CAT-01 Fanuc 9070, 9030 Cimplicity	2007	Укргазтех	Нова Техніка
36	КТГ	Гребінківська, КС-33	Ц013	1	1	ГПА-25	МН-80	Зоря-1 CCC Series IV	1997	Зоря-Машпроект	Зоря-Машпроект
37	КТГ	Гребінківська, КС-33	Ц013	1	2	ГПА-25	МН-80	Зоря-1 CCC Series IV	2004	Зоря-Машпроект	Зоря-Машпроект
38	КТГ	Гребінківська, КС-33	Ц013	1	3	ГПА-25	МН-80	Зоря-1 CCC Series IV	1999	Зоря-Машпроект	Зоря-Машпроект
39	КТГ	Гребінківська, КС-22	Ц014	1	1	ГТН-6	СТ	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2010	Енергоальянс	ІНЕК
40	КТГ	Гребінківська, КС-22	Ц014	1	2,3	ГТН-6	СТ	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2006	ІНЕК	ІНЕК

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження табл. 1.3

№ п/п	УМГ	Назва КС (ДКС, СПЗГ)	КЦ	№ цеху	№ ГПА	Тип ГПА	Тип двигуна	Тип агрегатної автоматики	Рік вводу	Поста-чальник	Розроб-ник
41	КТГ	Гребінківська, КС-22	Ц014	1	4	ГТН-6	СТ	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2007	ІНЕК	ІНЕК
42	КТГ	Гребінківська, КС-22	Ц014	1	5,6	ГТН-6	СТ	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2009	Енергоальянс	ІНЕК
43	КТГ	Гребінка КС-33П	Ц015	1	1	ГПУ-16	ДЖ-59Л2	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2004	ІНЕК	ІНЕК
44	КТГ	Гребінка КС-33П	Ц015	1	2-4	ГПУ-16	ДЖ-59Л2	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2003	ІНЕК	ІНЕК
45	КТГ	Зіньків	Ц016	1	1-3, 5,6	ГПУ-10-01	ДР-59Л	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2005	ІНЕК	ІНЕК
46	КТГ	Зіньків	Ц016	1	4,7	ГПУ-10-01	ДР-59Л	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2004	ІНЕК	ІНЕК
47	КТГ	Решетилівська	Ц017	1	1-4,7	ГПУ-10-01	ДР-59Л	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2003	ІНЕК	ІНЕК
48	КТГ	Решетилівська	Ц017	1	5,6	ГПУ-10-01	ДР-59Л	ІНЕК Octagon 5066 scada ІНЕК	2002	ІНЕК	ІНЕК
49	КТГ	Олишівка (СПЗГ)	Ц018	1	1,2	10ГКМА28-75	ГМК	Компресор-3	1988	ГМК	ГМК
50	КТГ	Олишівка (СПЗГ)	Ц018	1	3-7	10ГКМА28-75	ГМК	Компресор-3	1978	ГМК	ГМК
51	КТГ	Мрин (СПЗГ)	Ц019	1	1	10ГКНА	ГМК	Компресор-3	1974	ГМК	ГМК
52	КТГ	Мрин (СПЗГ)	Ц019	1	2-4	10ГКНА	ГМК	Компресор-3	1984	ГМК	ГМК
53	КТГ	Мрин (СПЗГ)	Ц019	2	5	10ГКНА	ГМК	Компресор-3PLC AMOT Hawk I 8632B	2004	-	Котрис
54	КТГ	Мрин (СПЗГ)	Ц019	2	6-12	10ГКНА	ГМК	Компресор-3	1984	ГМК	ГМК
55	КТГ	Мрин (СПЗГ)	Ц019	2	13	10ГКНА31-64	ГМК	Компресор-3PLC-plus AMOT Tomahawk 8635A	2007	-	Котрис
56	КТГ	Бобровницька	Ц020	1	1,2, 4,5	ГПА-Ц-6,3С	ДТ-71П	АТТІЗ Octagon 5066 scada АТТІЗ	2008	Енергоальянс	АТТІЗ
57	КТГ	Бобровницька	Ц020	1	3,6	ГПА-Ц-6,3С	ДТ-71П	АТТІЗ Octagon 5066 scada АТТІЗ	2009	Енергоальянс	АТТІЗ
58	КТГ	Солоха (СПЗГ)	Ц021	1	1-4	10ГКНА55-125	ГМК	Компресор-3PLC-plus AMOT 8635A TomaHawk	2010	-	Котрис
59	КТГ	Солоха (СПЗГ)	Ц021	1	5	10ГКНА55-125	ГМК	Компресор-3PLC-plus AMOT 8635A TomaHawk	2011	-	Котрис
60	КТГ	Солоха (СПЗГ)	Ц021	1	6-10	10ГКНА55-125	ГМК	Компресор-3	1987	-	-

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Аналізувались технологічна організація КС (кількість КЦ в межах КС), організація КЦ (кількість і тип ГПА), тип приводу ГПА, тип агрегатної автоматики, рік вводу в експлуатацію, розробник і постачальник.

Можливість підключення діючих систем до централізованої інформаційної системи, що розробляється, залежить від наявності стандартних інтерфейсів у складі діючих систем. При наявності такої підтримки (наприклад SCADA Інфо-КЦ, InTouch, SCXV6, Citect, WinCC,) підключення діючих систем до централізованої бази даних виконується згідно інструкцій та документації на дану систему. У разі відсутності стандартних інтерфейсів (ASK, ІНЕК, SCX5 та інших) – потрібно розробляти спеціалізоване програмне забезпечення.

Система телемеханіки фірми «Serck Controls», в межах УМГ «Київтрансгаз» охоплює два основних магістральних газопроводи, що проходять через територію України («Уренгой-Помари-Ужгород» та «Прогрес») і є базовою системою телемеханіки в ПАТ «Укртрансгаз». Програмне забезпечення рівнів ДП КС, ДП ЛВУ і ЦДП базується на SCADA-системі SCX v.5.1, яка не задовольняє сучасним вимогам інтеграції і «відкритості».

Сьогодні існує тенденція ускладнення технічних систем та їх технологічної структури, що вимагає від систем керування підвищення рівня інтегрованості та гнучкості з точки зору, як функціональних характеристик, так і адаптованості їх до нових потреб, що виникають протягом життєвого циклу об’єкту керування.

Вихід з положення, що склалося, полягає у реконструкції системи диспетчерського керування та створенні уніфікованих апаратно-програмних комплексів на базі сучасної SCADA-системи, з метою побудови єдиного інформаційного простору підприємства.

SCADA-системи на даний час залишаються найбільш перспективним методом при вирішенні задач побудови сучасних АСК ТП і які в повній мірі вирішують весь комплекс задач автоматизованого керування [32-35].

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Виходячи з викладеного, можна зробити висновок, що сучасний стан АСК КС не відповідає вимогам часу, більшість апаратно-програмних засобів АСК КС в структурі ПАТ «Укртрансгаз» є різнотипними, оскільки поставлялись різними виробниками, тому актуальною є задача їх заміни чи модернізації на принципах уніфікації, а також задачі уніфікації процедур проектування, управління, експлуатації та супроводу АСК КС.

За результатами обстеження компресорного обладнання визначено, що найбільш придатними до модернізації та інтеграції є САК ГПА та АСК ТП КЦ (КС) (див. табл. 1.3), в якій наведено узагальнений аналіз про стан автоматизації компресорних станцій УМГ «Київтрансгаз» на 2014 р.

За визначенням [36], уніфікація є «… найпоширенішим і ефективним методом стандартизації, який передбачає приведення об'єктів до однотипності на основі встановлення раціонального числа їх різновидів. Уніфікація сприяє розвиткові спеціалізації виробництва, комплексної механізації та автоматизації. Уніфікація полягає у виборі оптимальної кількості або в раціональному скороченні числа типів, видів, параметрів і розмірів об'єктів однакового чи близького функційного призначення. Уніфікація спрямована на зменшення числа різновидів об'єктів шляхом комбінування двох і більше їх характеристик. Об'єктами уніфікації можуть бути різні вироби: матеріали, деталі, вузли, схеми, прилади, пристрої, агрегати, машини. Уніфікація виробів супроводжується виявленням оптимальних конструкторсько-технологічних рішень та типізацією шляхом комбінування (поєднанням) найбільш вдалих конструкторсько-технологічних рішень …».

Враховуючи основні положення принципів уніфікації технічних систем, для вирішення задач побудови АСК КС необхідно визначити основні задачі уніфікації АСК КС.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

1.3 Задачі уніфікації автоматизованих систем керування компресорними станціями

В результаті аналізу об’єктів АСК КС та їх функціонального призначення, а також апаратно-програмних засобів АСК КС можна визначити такі напрямки і задачі уніфікації [37]:

1) розробка і впровадження аппаратно-програмних засобів на базі програмованих логічних контролерів (PLC – Programmable Logic Controller) відомих фірм виробників (як правило, однієї) з можливістю розширення і модернізації, необхідними сертифікатами відповідності, а також наявними в Україні представництвами, інженерними, сервісними і навчальними центрами, складами комплектуючих і можливістю швидкої поставки обладнання;

2) застосування базового, опційного, інструментального та діагностичного програмного забезпечення, що відповідає сучасному рівню і передбачає інтеграцію з визначеними апаратними засобами;

3) розробка та впровадження сучасних телекомунікаційних багаторівневих мереж з розподіленою архітектурою і різнорідними сегментами з підтримкою Web-технологій;

4) застосування сучасних SCADA-систем відомих світових виробників на рівні САК КС з подальшою комунікацією на вищі рівні диспетчерського керування ГТС;

6) уніфікація, математичне і методичне забезпечення процедур моделювання, імітації, тестування і діагностування апаратно-програмних засобів САК КС;

7) уніфікація проектних процедур, документування, супроводу і вводу в експлуатацію АСК КС

В результаті впровадження АСК КС повинно бути забезпечено:

- організацію автоматичного збору даних в реальному часі від існуючих локальних та розподілених систем автоматизації об’єктів ГТС та їх первинну обробку, довготривале зберігання і передачу на вищі рівні;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- відображення в графічному вигляді оперативного стану об’єктів ГТС, поточних режимів, а також динамічних змін параметрів технологічного процесу, аварійних ситуацій, ремонту та введення об’єктів в дію;

- формування оперативної та технологічної звітності;

- організацію інформаційних зв’язків з суміжними системами ДК;

- надання можливості автоматизації режимів облікових рішень та завдань;

- можливість виконання функцій оптимізації, ефективного планування, обліку матеріальних ресурсів та інше.

Тому на основі проведенного аналізу об’єктів ГТС, їх функціонального призначення, аппаратно-програмних засобів АСК КС, а також визначених напрямків і задач, сформульовано основні вимоги до АСК КС на основі системності, сумісності, «відкритості», можливості модернізації, стандартизації, уніфікації та ефективності [38]:

- створювані АСК повинні відповідати принципам системності (цілісність, ієрархічність, структурність, множинність, сукупність зв’язків між елементами знизу – вверх і навпаки);

- створювані АСК повинні передбачати сумісність і «відкритість» для можливості їх реалізації на апаратно-програмних засобах декількох виробників (при цьому зміни в інтерфейсній частині повинні бути мінімальними);

- створювані АСК повинні передбачати їх подальший розвиток з можливістю модернізації шляхом розширення ресурсів і функціональності, а апаратно-програмні засоби повинні забезпечити термін служби не менше ніж 10 років відповідно до СОУ 49.5-30019801-115:2014 [7];

- створювані АСК повинні будуватись на типових рішеннях для однотипних технологічних об’єктів на основі принципів стандартизації та уніфікації;

- створювані АСК повинні забезпечувати раціональне співвідношення витрат на їх створення і експлуатацію та економічний ефект від функціонування (відповідно до СОУ 74.1-20077720-012 [39] термін окупності АСК повинен бути меншим від терміну їх служби).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

При проведенні проектних робіт з переоснащення, модернізації або заміни обладнання технологічного об’єкта ГТС необхідно визначати рівень автоматизації, який буде досягнутий в результаті або залишиться без змін. Показник рівня автоматизації [40] технологічного об’єкта залежить від оснащеності технологічним обладнанням (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Параметри рівня автоматизації об’єктів ГТС

Рівень	Стан об’єкта автоматизації	Функції
РА-0	Первинні перетворювачі фізичних величин за місцем	Тільки функції моніторингу
РА-1	Відсутні приводи для керування від САК	Тільки функції моніторингу
РА-2	РА-1 та місцеве керування приводами	Тільки функції моніторингу
РА-3	РА-2 та часткове керування приводами від САК	Моніторинг та часткове керування
РА-4	Повне керування від ДПК-Н	Моніторинг та повне керування

Основним завданням комплексної автоматизації ГТС є перехід до «безлюдних технологій» і досягнення в перспективі рівня автоматизації РА-4.

Додатково, для ефективного вирішення сформульованих вище задач необхідно визначити склад уніфікованих апаратно-програмних засобів, розробити методи, моделі та унфіковані проектні процедури.

1.4 Аналіз інструментарію та методів математичного аналізу для моделювання АСК КС

Проведення експериментальних досліджень на об’єктах ГТС пов’язане зі значними складностями за рахунок необхідності оформлення відповідних погоджень та режиму ефективного використання ресурсів (зміна режимів роботи обладнання потребує додаткових витрат енергії та часу).

У зв’язку з цим, розробка алгоритмічного забезпечення та створення інструментальних засобів для досліджень на основі імітаційних моделей об’єктів та засобів управління є актуальною науково-технічною задачею [41].

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Для вирішення вказаних задач та на основі досвіду застосування пропонується програмний комплекс «MatLab» - пакет прикладних програм для обробки даних та моделювання на основі матричних обчислень [42].

Головною особливістю «MatLab» є його орієнтація на чисельні розрахунки, візуалізацію і специфічні технічні додатки.

Можливості пакету можна розділити на декілька функціональних блоків:

- математичні обчислення – символьні і чисельні;
- розробка алгоритмів, програм та інтерфейсу користувача;
- збір даних;
- моделювання;
- візуалізація даних і потужна графічна підтримка.

Основним елементом пакету є командне вікно, в якому команди передаються в ядро системи, а елемент інтерфейсу «Workspace» містить перелік усіх активних змінних поточного сеансу.

Програмний комплекс «MatLab» складається з базової програми, що забезпечує основні функції, і набору додаткових модулів, призначених для виконання специфічних операцій.

«Simulink» – інтерактивний інструмент для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем, включаючи дискретні, неперервні та гібридні, надає можливість будувати графічні блок-діаграми, імітувати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і вдосконалювати проекти [43].

«Simulink» повністю інтегрований з «MatLab», що забезпечує швидкий доступ до широкого спектру інструментів аналізу і проектування. Simulink також інтегрується з програмним модулем «Stateflow» для моделювання станів, викликаних подіями. Ця перевага робить «Simulink» ефективним інструментом для проектування систем керування і зв’язку, цифрової обробки та інших додатків.

«Simulink» має наступні переваги та особливості:

- інтерактивне графічне середовище для побудови блок-діаграм;
- розширювана бібліотека стандартних блоків;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- засоби побудови багаторівневих ієрархічних і багатокомпонентних моделей;

- засоби навігації та налаштування параметрів складних моделей – «Model Explorer»;

- засоби інтеграції готових «C/C++», «FORTRAN», «ADA» та «MatLab»-алгоритмів у модель, взаємодія з зовнішніми програмами для моделювання;

- сучасні засоби розв'язку диференційних рівнянь для неперервних, дискретних, лінійних та нелінійних об'єктів;

- імітаційне моделювання нестаціонарних систем за допомогою методів зі змінним та постійним кроком чи методом керованого з «MatLab» пакетного моделювання;

- інтерактивна візуалізація вихідних сигналів, засоби налаштування та завдання вхідних впливів;

- засоби відлагодження та аналізу моделей.

З моделями «Simulink» взаємодіє близько десятка інших модулів, призначених для його розширення та деталізації. Широке застосування знаходять модулі для роботи з нейронними мережами, нечіткою логікою та сплайнами, для обробки сигналів та зображень і статистичної обробки даних.

Програмний комплекс «MatLab» також містить досить потужні інструменти для вирішення завдань оптимізації. Модуль «Optimization Toolbox» підтримує традиційні процедури пошуку екстремуму для лінійних, квадратичних і нелінійних задач з обмеженнями та без них та вирішення завдань пошуку екстремумів. Алгоритми прямого пошуку дозволяють знаходити екстремуми негладких і навіть функцій з розривами, що неможливо зробити традиційними методами. В пакеті підтримується внутрішня мова програмування, є розвинені інструменти налагодження (точки зупинки, покрокове виконання, відображення поточних значень змінних). Скрипти зберігаються в m-файлах і є основним засобом створення користувацьких проектів в рамках системи.

Програмний комплекс «MatLab» в основному орієнтований на структурний підхід, одиницею програмної структури є функція, що зберігається

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

в окремому m-файлі і викликається з середовища пакету, як і будь-яка вбудована. Підтримуються п’ятнадцять базових типів даних (більшість з них універсальні для всіх сучасних засобів розробки). Специфічними для «MatLab» є структури та секційні масиви (матриці, елементами яких можуть бути дані довільних типів).

Пакет включає засоби для створення класів з підтримкою механізмів наслідування, агрегування, інкапсуляції даних. Крім внутрішніх класів «MatLab», введена повна програмна підтримка класів мови «Java», що дозволяє істотно розширювати можливості «MatLab», зокрема керувати вводом та виводом, створювати мережеві додатки, інтегрувати «MatLab» з іншими системами обробки даних.

Не зважаючи на вказані переваги, зазначених методів недостатньо для створення високопродуктивних додатків з причини жорсткої прив’язки програми на мові «MatLab» до самого пакету. Тому «MatLab» підтримує «MatLab Compiler» за допомогою якого програму на мові «MatLab» можна транслювати у виконуваний модуль, що підключає бібліотеку «C» і «C++», надбудову «Microsoft Excel» і «COM-об’єкт». Принциповим є те, що всі названі програми вже не вимагають ядра «MatLab» або його компонентів для їхнього функціонування.

Важливим інструментом пакету є інтерфейси для взаємодії із зовнішніми додатками і операційною системою. Основні інтерфейси «MatLab» дозволяють звертатися до «DLL», зовнішнього коду на мовах «C» та «Fortran», класів «Java», «COM-об’єктів», а також здійснювати обмін за протоколами «DDE» і «OPC».

Крім того на основі інструменту «PLC Coder» можливою є автоматична генерація коду для підтримуваних PLC з Simulink-моделей [44].

Таким чином, програмний комплекс «MatLab» може бути ефективним засобом для вирішення широкого спектру обчислювальних задач, моделювання процесів, дослідження режимів роботи і організації комунікацій при побудові АСК КЦ чи аналогічних завдань.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Враховуючи, що при побудові математичних та імітаційних моделей необхідно обробляти значну кількість експериментальних даних та виконувати їх аналіз і узагальнення, в якості математичного апарату пропонується використання методів і засобів статистичного аналізу [45].

При побудові статистичних моделей, нормальному закону розподілу безумовно належить центральне місце. Проте використання його для моделювання розподілу емпіричних даних не завжди є обґрунтованим. При цьому, більш важливим є те, що багато методів обробки даних використовують розрахункові величини, що мають хоча й інші, але близькі до нормального розподіли. Крім того, за допомогою нормального закону визначаються широко розповсюджені в математичній статистиці розподіли χ^2 (хі-квадрат), Стьюдента і Фішера [46].

Розподіл Стьюдента – це розподіл випадкової величини

$$T = \frac{U\sqrt{n}}{\sqrt{X}}, \tag{1.1}$$

де U та X – випадкові, незалежні величини;

U має стандартний нормальний розподіл $N(0.1)$;

X – розподіл χ^2 з n ступенями вільності (при цьому n називається «числом ступенів вільності» розподілу Стьюдента).

Властивості нормального розподілу можна використовувати лише тоді, коли обсяг вибірки є достатньо великим. Проте в реальних умовах ця передумова виконується не завжди. В таких умовах доцільно використовувати інші розподіли.

Одним із частозастосовуваних вважається розподіл Стьюдента:

$$f_t(x,n) = \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{2}\right)}{\sqrt{n\cdot\pi}\cdot\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}\left(1+\frac{x^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}, \tag{1.2}$$

де $f_t(x,n)$ – функція щільності розподілу Стьюдента;

n – число ступенів вільності;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Г – гама-функція.

При збільшенні числа ступенів вільності розподіл Стьюдента асимптотично наближаються до нормального розподілу, а при розмірності вибірки $n \to \infty$, збігається з ним.

При вирішенні статистичних задач застосовуються також методи кореляційного аналізу для виявлення зв'язку між змінними, оцінки його напрямку та інтенсивності [47].

Можна виділити три типи залежностей між змінними *X* та *Y*:

- функціональна – визначає значення *Y* від *X* однозначно;
- кореляційна – визначає середнє значення змінної *Y* від *X*;
- стохастична – визначає розподіл змінної *Y* від *X*.

Тому, найбільш загальною вважається стохастична залежність.

Кореляційні зв'язки аналізуються і досліджуються на якісному рівні з діаграм розсіювання емпіричних значень змінних *X* та *Y* і відповідною їх інтерпретацією.

Метод найменших квадратів (МНК), завдяки широкій сфері застосування, займає виняткове місце серед методів математичної статистики. Задачею МНК є оцінка закономірностей, які спостерігаються при випадкових коливаннях, та її використання для подальших розрахунків, зокрема, для прогнозів [48].

Задача МНК розв'язується шляхом параметричної оцінки функції регресії, що описує залежність однієї величини *Y*, значення якої спостерігають з випадковими похибками, від групи невипадкових величин $X_1, X_2, \ldots, X_k$.

Функція регресії – це функція *k* змінних $x_1, x_2, \ldots, x_k$, яка є математичним сподіванням величини *Y* при $X_1 = x_1, X_2 = x_2, \ldots, X_k = x_k$:

$$f(x_1, x_2, ..., x_k) = \mathrm{M}(Y / X_1 = x_1, X_2 = x_2, X_k = x_k). \qquad (1.3)$$

Вихідні дані для МНК – це *n* спостережень величини *Y* та *n* відповідних наборів значень величин $X_1, X_2, \ldots, X_k$.

Рівняння зв'язку між *Y* та $X_1, X_2, \ldots, X_k$ має вигляд:

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{ik}, a_1, a_2, ..., a_m) + \theta_i, \qquad (1.4)$$

Назаренко Ігор Вікторович ЧНТУНГ

де y_i – спостереження Y в досліді під номером i;

x_{ik} – значення величини X_k в досліді під номером i;

a_m – параметри, що підлягають оцінці за МНК;

θ_i – випадкова величина з нульовим математичним сподіванням, якою є взяте зі знаком відхилення y_i від відповідного значення функції регресії.

Спостереження y_i називаються рівноточними, якщо дисперсії величин θ_i є сталими величинами.

У випадку нерівноточних спостережень дисперсії зображуються у вигляді:

$$D\theta_i = \frac{D}{p_i}, \tag{1.5}$$

де D – стала (вона може бути невідомою);

p_i – задані вагові коефіцієнти.

Якщо спостереження рівноточні, то за оцінки параметрів a_m в МНК беруть такі значення, при яких сума S квадратів відхилень θ_i є мінімальною (у випадку нерівноточних – при яких стає мінімальною сума S_p квадратів відхилень θ_i, що взяті з ваговими коефіцієнтами p_i:

$$S = \sum_{i=1}^{n} \theta_i^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_i - f(x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{ik}, a_1, a_2, ..., a_m))^2, \tag{1.6}$$

$$S_p = \sum_{i=1}^{n} \theta_i^2 p_i = \sum_{i=1}^{n} (y_i - f(x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{ik}, a_1, a_2, ..., a_m))^2 p_i. \tag{1.7}$$

Таким чином, метод найменших квадратів – задача мінімізації функції, а саме суми квадратів різниць між заданими значеннями функції та значеннями функції регресії.

Значення, які отримуються при вимірюванні певних величин чи постановці експериментів – це набори дискретних даних. Проте при вирішенні різного роду задач є необхідність оперування неперервною функцією, яка залежить від однієї чи декількох змінних. Задача отримання аналітичного

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

виразу функції, графік якої проходить через усі задані точки, вирішується побудовою інтерполяційних залежностей. Отримані результати застосовують для знаходження значень функції в проміжних точках [49].

Найпростіший вид інтерполяції – кусково-постійна. На кожному проміжку між експериментальними точками, значення функції представляє собою константу, яка дорівнює значенню величини на лівій або правій границі.

Кусково-лінійна інтерполяція представляє шукану залежність у вигляді ламаної, тобто інтерполююча функція складається з відрізків, які з'єднують точки:

$$f(x) = y_i \frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}} + y_{i+1} \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}. \quad (1.8)$$

У багатьох випадках при вирішенні задачі інтерполяції ставиться вимога з'єднувати точки не ламаною, а гладкою кривою. Одним із найефективніших методів вважається інтерполяція сплайнами (фрагментами поліномів).

Зміст сплайн-інтерполяції полягає в тому, що на кожному проміжку між вузловими точками застосовується окремий поліном, причому коефіцієнти підбираються таким чином, щоб на границях виконувалися умови «зшивки».

Найбільш часто застосовуються кубічні сплайни:

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d. \quad (1.9)$$

Кубічна сплайн-інтерполяція забезпечує рівність у вузлах не тільки сусідніх параболічних функцій, але й перших та других похідних, результатом чого є значна гладкість інтерполяції.

При вирішенні задач моделювання існує значна кількість підходів, що пов'язано з різними типами моделей. Водночас, кожна модель повинна мати наступні властивості:

- цілеспрямованість – модель завжди будується з певною метою;

- спрощеність – модель відображає тільки істотні характеристики об'єкта;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- адекватність – відтворення моделлю з необхідною точністю найважливіших властивостей об’єкта для цілей конкретного дослідження;

- наочність - відображуваність основних властивостей і співвідношень;

- доступність і технологічність для дослідження або відтворення;

- стійкість – модель повинна описувати і забезпечувати стійкість системи.

У математичних моделях, побудованих на основі методу групового урахування аргументів (МГУА) враховуються ймовірнісні взаємозв’язки станів і ознак станів об’єктів дослідження [50-59]. Це дозволяє замінити процес вивчення особливостей заданого об’єкта моделювання (наприклад з точки зору газодинамічних процесів, що протікають в ГПА) статистичною обробкою технологічної інформації, що збирається САК ГПА. Тому моделі, що побудовані на основі МГУА дозволяють оцінювати зміну технічного стану об’єкта управління використовуючи, наприклад, значення абсолютного відхилення між виміряним технологічним параметром і значенням, розрахованим на основі моделі.

МГУА може бути використаний для вирішення наступних завдань [60-62]:

- ідентифікація фізичних закономірностей;

- апроксимації багатовимірних процесів;

- короткострокового покрокового прогнозу процесів і подій;

- довгострокового покрокового прогнозу;

- екстраполяції фізичних полів;

- нормативного векторного прогнозу процесів.

Основний результат теорії МГУА полягає в тому, що при неточних зашумлених даних з об’єкта управління і коротких вибірках, мінімум критерію вказує на нефізичну модель (вирішальне правило), точність якої є вищою, а структура простішою за структуру повної фізичної моделі.

Математичне моделювання складних об’єктів має наступні відмінні особливості:

- висока розмірність вектора вхідних координат $\overline{x} = (x_1, x_2, ..., x_k)$;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- наявність великої кількості внутрішніх джерел випадкових завад, статистичні характеристики яких, як правило, невідомі;

- невивченість механізмів, які визначають напрямок і особливості протікання процесів в об'єктах;

- складність постановки експериментів для отримання значної кількості сигналів $\overline{x}^e, y^e$ (y^e – одновимірний вихід об'єкта).

Вказані особливості ускладнюють побудову неформальних математичних моделей складних об'єктів. У зв'язку з цим статистичні режими їх функціонування доводиться описувати рівняннями виду:

$$y = f(x) = a_0 + \sum_{j=1}^{k} a_j x_j + \sum_{j=1}^{k} a_{jj} x_j^2 + \sum_{j=1}^{k}\sum_{\gamma=1}^{k} a_{j\gamma} x_j x_\gamma + \\ + \sum_{j=1}^{k}\sum_{\gamma=1}^{k}\sum_{p=1}^{k} a_{j\gamma p} x_j x_\gamma x_p + \sum_{j=1}^{k} a_{jjj} x_j^3 + ..., \tag{1.10}$$

де $j < \gamma < p < k$.

Застосування вищевказаного апарату дозволяє також вирішувати актуальні задачі перевірки технологічних параметрів на аномальність та наявність тренду.

При перевірці на аномальність, в найпростішому випадку, розглядаються дві гіпотези:

- елемент вибірки є аномальним і підлягає вилученню;

- елемент вибірки відповідає закону розподілу або не відхиляється від відомого середнього значення.

Для перевірки виконання вказаних гіпотез, необхідно обирати статистичний критерій. Одним з відомих та часто застосовуваних є критерій Стьюдента, що базується на розподілі Стьюдента [46].

Одновибірковий *t*-критерій Стьюдента визначається як:

$$t = \frac{|M_x - A|}{\sigma / \sqrt{n}}, \tag{1.11}$$

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

де M_x – середнє значення вибірки;

A – елемент вибірки, що перевіряється;

σ – вибіркова дисперсія;

n – розмірність вибірки.

При перевірці тої чи іншої гіпотези існує ймовірність виникнення помилки. Для врахування таких помилок задаються певним значенням рівня значущості α, який вказує на ймовірність помилки при оцінюванні.

Після вибору статистичного критерію та задання рівня значущості слід визначити власне елемент вибірки, який підлягає перевірці. В найпростішому випадку, це елемент з максимальним значенням модуля. Далі знайдений елемент вилучається, а для вибірки розмірністю $\tilde{n} = n - 1$ обчислюється середнє значення, дисперсія та значення критерію Стьюдента за формулою (1.2). Також визначається критичне значення квантилі розподілу Стьюдента, яке залежить від рівня значущості та кількості ступенів вільності:

$$t_{\text{кр}}\left(1-\frac{\alpha}{2},\tilde{n}-1\right)=t_{\text{кр}}\left(1-\frac{\alpha}{2},n-2\right)=F_{n-2}^{-1}\left(1-\frac{\alpha}{2}\right) \qquad (1.12)$$

Далі, отримані значення порівнюються між собою. Якщо значення критерію Стьюдента не перевищує критичне значення квантилі, то вибраний елемент вибірки є нормальним, і навпаки.

Трендова зміна технологічного параметру може бути спричинена поступовими деградаційними процесами, що протікають у вузлах (абразивний знос лопаток компресора; високотемпературна корозія та інш.).

Для виявлення тренду необхідно застосовуються методи математичної статистики. При цьому визначається, чи суттєво відрізняється від нуля значення коефіцієнту кореляції між діагностичним відхиленням та параметром часу [47].

Алгоритм контролю передбачає розрахунок значення математичного очікування M_y та середньоквадратичного відхилення S_y за значеннями елементів вибірки.

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

Аналогічно розраховуються значення математичного очікування M_x та середньоквадратичного відхилення S_x для елементів вибірки, які являють собою моменти часу, в які спостерігаються відповідні значення величини (або порядкові номери елементів вибірки).

Розраховується коефіцієнт кореляції:

$$\rho = \frac{\mu}{S_x S_y}, \tag{1.13}$$

де μ – кореляційний момент:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - M_x)(y_i - M_y)}{N-1}, \tag{1.14}$$

де x_i – елемент вибірки, що містить моменти часу (порядкові номери);

y_i – елемент вибірки, що містить значення величини;

N – розмірність вибірки.

Розраховується статистика, що відповідає розподілу Стьюдента:

$$T = \rho\sqrt{\frac{N-2}{1-\rho^2}}. \tag{1.15}$$

Отримане значення порівнюється із критичним значенням квантилі розподілу Стьюдента, знайденим за (1.1) і робиться відповідний висновок.

Якщо значення статистики не перевищує критичне значення квантилі, то констатується відсутність тренду, і навпаки.

Таким чином проаналізовано методи математичного аналізу, які є основою для побудови імітаційних моделей АСК КС на основі експериментальних даних, що потребують статистичної обробки, інтерполяції даних, а також контролю технологічних параметрів на «аномальність» та «наявність тренду».

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

1.5 Вибір та обгрунтування напрямку досліджень

В результаті проведеного аналізу об’єктів КС, як складової частини АСК встановлено, що КС є складною багаторівневою системою, кожен рівень якої (ГПА-КЦ-КС) вимагає розробки АСК КС на базі уніфікованих аппаратно-програмних засобів.

Аналіз сучасного стану апаратно-програмних засобів КС показав, що на підприємствах ГТС України експлуатуються, як морально застарілі так і сучасні АСК, побудовані на базі апаратно-програмних засобів різних виробників, що ускладнює організацію та експлуатацію системи об’єднаного диспетчерського управління ПАТ «Укртрансгаз». Тому актуальною є задача розробки АСК КС на принципах уніфікації проектних процедур, апаратно-програмних засобів та алгоритмів керування.

В той же час, побудова таких складних систем вимагає попередньої розробки відповідних топологічних рішень, моделей і методів для імітації режимів роботи компонентів АСК КС.

У зв’язку з цим, в результаті проведеного аналізу об’єктів КС, як складових частин автоматизованих систем керування, було визначено основні технологічні параметри, що будуть використані при розробці методів побудови і моделюванні режимів роботи АСК КС.

Аналізуючи сучасний стан апаратно-програмних засобів АСК КС в УМГ «Київтрансгаз» до складу якого входить 21 КС було встановлено, що значна частина засобів АСК є різнотипною (20 типів), розроблена і поставлена різними організаціями (7 і 6 відповідно), введена в експлуатацію на протязі 1974-2011 р.р., має застарілі зразки, несумісні комунікації, інші недоліки, що призводить до значних матеріальних втрат та низької ефективності їх експлуатації.

Визначено напрямки та сформульовано задачі уніфікації АСК КС на основі системності, сумісності, «відкритості», можливості модернізації, стандартизації, уніфікації та ефективності, а також обгрунтовано вибір інструментарію (програмний комплекс «MatLab» з модулем «Simulink») для

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

аналізу технологічних параметрів, моделювання, дослідження режимів роботи і обробки результатів досліджень компонентів АСК КС.

Проаналізовано методи математичного аналізу, які є основою для побудови імітаційних моделей АСК КС на основі експериментальних даних, що потребують статистичної обробки і контролю технологічних параметрів на «аномальність» та «наявність тренду» та обгрунтовано необхідність створення апаратно-програмного комплексу на основі уніфікованих процедур, що об’єднують імітаційну Simulink-модель КЦ КС та верхній рівень автоматизованого керування на основі SCADA-системи, який і буде застосуватись, як для дослідницьких і навчальних цілей, так і в процесі побудови та модернізації автоматизованих систем керування компресорними станціями.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

РОЗДІЛ 2 ТОПОЛОГІЯ, ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ І МЕТОДИ УНІФІКАЦІЇ ПРОЕКТНИХ ПРОЦЕДУР АСК КС

2.1 Топології АСК КС на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів і технології розподіленого вводу-виводу

Аналіз поточного стану систем автоматичного керування газоперекачувальних агрегатів в УМГ «Київтрансгаз» (рис. 2.1) [63] свідчить, що для 67% систем перевищено паспортний ресурс експлуатації, ще 17% вичерпають свій ресурс протягом 1-3 років, по системах САК компресорної станції (КС) відповідно 59% та 18%. Відсутність компонентів систем управління, які не випускаються, а також відсутність окремих виробників САК та розробників програмного забезпечення САК (які не функціонують, або переорієнтувались на інші виробництва) унеможливлює забезпечення безвідмовної роботи систем автоматики [64].

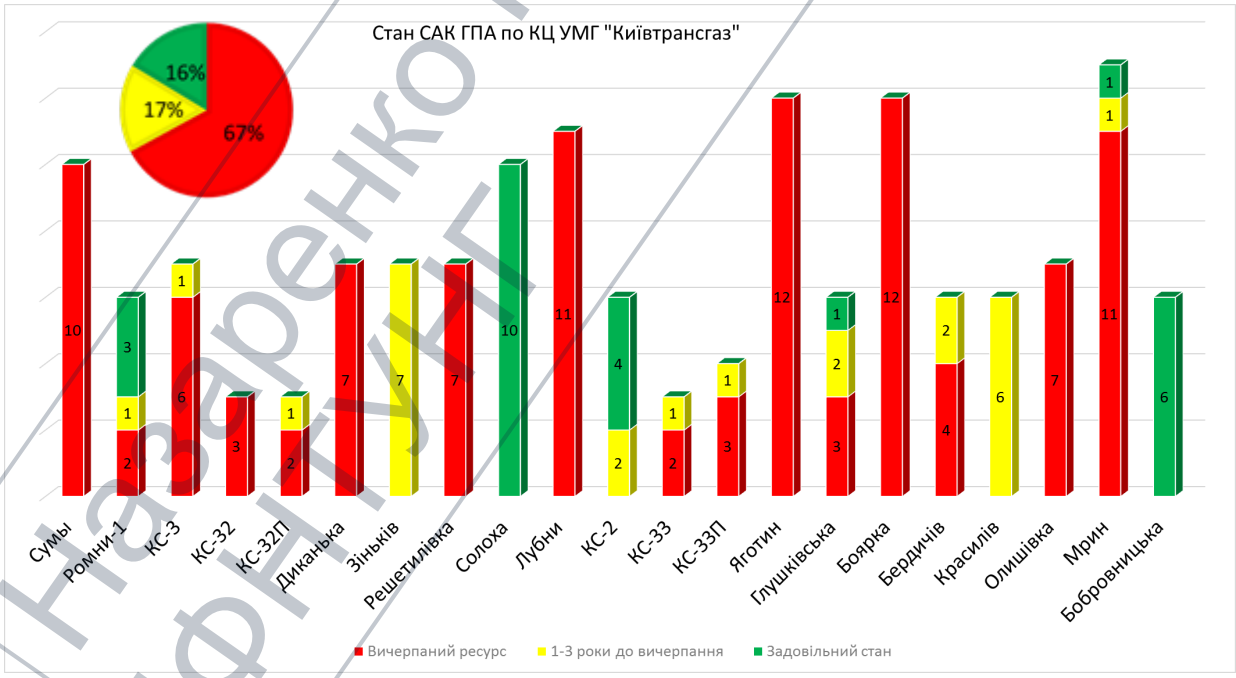


Рисунок 2.1 - Аналіз поточного стану систем автоматичного керування газоперекачувальних агрегатів в УМГ «Київтрансгаз»

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Історичного так склалося, що впровадження систем автоматики відбувалося за принципом: окрема одиниця технологічного обладнання - окрема система автоматичного керування. Результатами такого підходу можна вважати достатньо велику кількість різноманітних систем на КС від різних виробників, десятки протоколів обміну з різними типами інтерфейсу. Проблеми зі збору та обробки інформації з подальшою уніфікацією з метою централізованої обробки, зберігання та подання для кінцевих споживачів вирішують ДПКС [65].

Найбільшим недоліком впровадження локальних САК можна вважати значні витрати під час впровадження та ще більші експлуатаційні витрати. Витрати під час впровадження обумовлені тим, що кожна локальна система автоматики потребує розроблення окремого проекту на впровадження, а також майже кожна система автоматики постачається зі своєю специфічною системою верхнього рівня (вартість якої складає, як правило, 20-30% від вартості впровадження системи в цілому). Значні експлуатаційні витрати пов’язані з тим, що обслуговування різнотипного обладнання потребує значно більших затрат за рахунок придбання нетипових запасних вимірювальних приладів (ЗВП), навчання експлуатаційного персоналу роботі з різними системами ускладнений, є необхідність укладання договорів на обслуговування із декількома сторонніми організаціями.

До переваг такого підходу можна віднести той факт, що вихід з ладу локальної системи автоматики окремого технологічного обладнання суттєво не впливає на роботу компресорної станції в цілому. Вимушена зупинка одного ГПА, що відбулася з причин некоректної роботи САК, є нештатною ситуацією, але не призводить до значного порушення режиму транспортування газу (у разі виходу з ладу систем автоматики допоміжного обладнання КС застосовують режим ручного керування).

Таким чином, першочерговими задачами при побудові автоматизованих систем керування є розробка ефективних топологій АСК, формалізація і нормування технологічних параметрів АСК, розробка методів (формування

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

тестових сигналів для імітації режимів роботи компонентів АСК і генераторів програмних кодів PLC з імітаційних моделей), а також застосування засобів для забезпечення максимальної уніфікації проектних процедур (наскрізні системи автоматизованого проектування, базове та інструментальне програмне забезпечення визнаних виробників).

2.1.1 Розробка топологій АСК КС

Відповідно до відомчих нормативних документів, система автоматики повинна забезпечувати можливість дистанційного ручного керування обладнанням, що може бути реалізовано через пульт ручного керування, який взаємодіє безпосередньо з програмованим логічним контролером.

До можливих недоліків запропонованого рішення можна віднести значні капітальні витрати на будівництво нових кабельних ліній системи живлення та оптичної промислової мережі передачі даних в межах КС.

До переваг структури автоматизації за технологією розподіленого вводу-виводу можна віднести [63]:

- для всіх систем автоматики КС використовується однотипне уніфіковане обладнання;

- вартість і терміни впровадження зменшуються за рахунок уніфікації;

- зменшується кількість та номенклатура ЗВП;

- зменшується вартість експлуатації за рахунок використання однієї системи верхнього рівня для всіх систем автоматики;

- зменшуються витрати на навчання обслуговуючого персоналу за рахунок уніфікації обладнання;

- за рахунок підвищення надійності систем автоматики загалом - зменшується кількість вимушених зупинок та простоїв технологічного обладнання;

- впровадження системи дозволяє перейти від керування режимом роботи ГПА до керування роботи цехом, що дасть змогу оптимізувати роботу обладнання з метою енергозбереження.

Назаренко Ігор Вігторович ІФНТУНГ

На рис. 2.2 зображено типову структуру децентралізованої системи автоматизації КС, що включає:

- апаратну (цеховий регулятор на основі сервера бази даних реального часу (БДРЧ) і SCADA-системи «Citect») частину та комунікаційне обладнання;

- операторну (автоматизовані робочі місця змінних інженерів (АРМ ЗІ) і комунікаційне обладнання на основі комунікації Ethernet) частину;

- окремо розміщені (САК ГПА, САК загальноцехового обладнання (ЗЦО), САК кранами і установками підготовки паливного, пускового та імпульсного газу (УППІГ), САК насосною станцією теплової утилізації (НСТУ), системи контролю загазованості (СКЗ), САК комплектної трансформаторної підстанції виробничо-експлуатаційного блоку (КТП ВЕБ) на основі комунікації Ethernet і RS-485);

- проммайданчик (САК оливо-господарством (ОГ), САК комплектної трансформаторної підстанції апаратів повітряного охолодження газу (КТП АПОГ), САК АПОГ, САК ГПА, пульт керування і регулювання (ПКР) на основі комунікації Ethernet і RS-485).

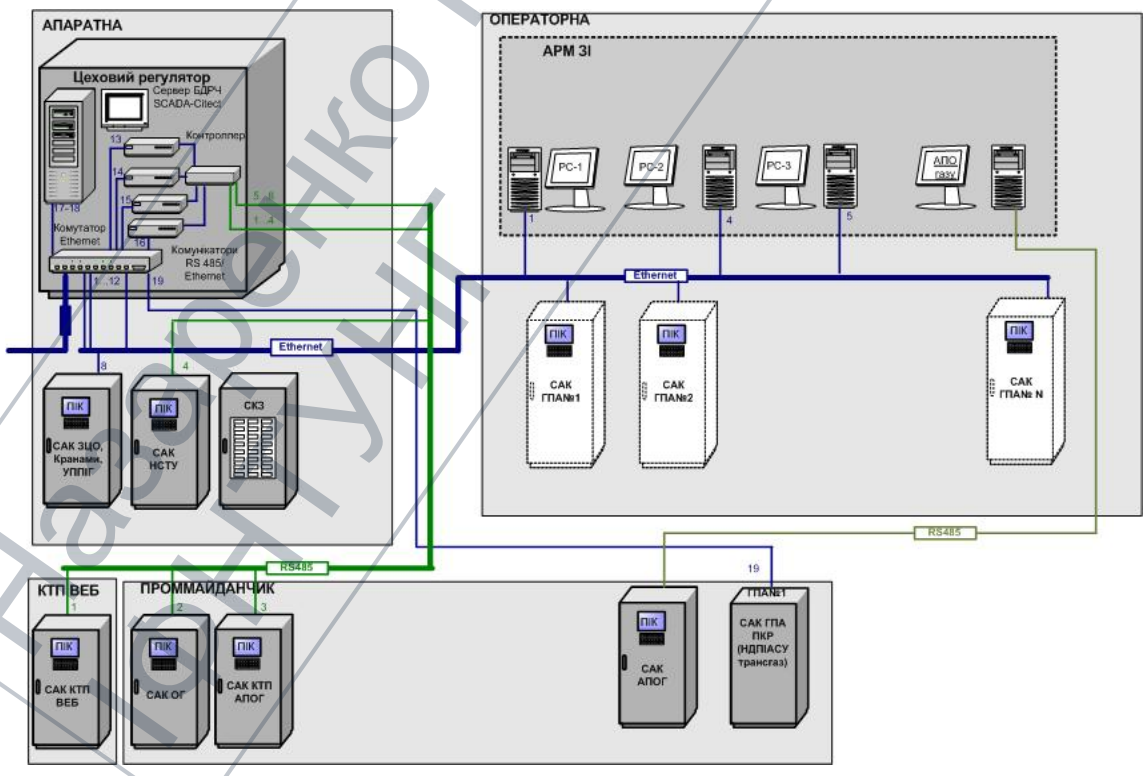


Рисунок 2.2 - Типова структура децентралізованої системи автоматизації КС

Набоченко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Як правило, на КС функціонує від 1-го до 12-ти незалежних САК ГПА, а також системи автоматизації загальностанційних систем (САК кранами КС, САК апаратів повітряного охолодження газу, САК оливогосподарства та ін.). Кожна така САК має окрему шафу керування, програмований логічний контролер, систему живлення, протокол обміну даними та програмне забезпечення верхнього рівня.

Пропонується новий підхід до автоматизації КС шляхом розроблення централізованої системи автоматичного керування основним та допоміжним технологічним обладнання КС з використанням технології розподіленого вводу-виводу [40].

Основою такого підходу є забезпечення надійності трьох основних підсистем:

- резервований центральний процесорний модуль (Redundant Cetntral Processing Unit);

- промислова мережа передачі даних;

- система безперебійного живлення.

Реалізація даної системи повинна базуватися на центральному процесорному модулі Siemens S7-400H/F/FH, який призначений для систем автоматичного керування підвищеної надійності з функціями підвищеної безпеки (Fail-safe - S7-400F), резервування (Redundant S7-400H), або комбіновані S7-400FH, в яких виникнення відмов може призвести до виникнення небезпечної для життя обслуговуючого персоналу ситуації, значних матеріальних втрат, техногенних катастроф [66].

Модуль S7-400H/F/FH відповідає таким міжнародним стандартам з надійності та безпеки:

- клас AK1 … AK6 по DIN V 19250 / DIN V VDE 0801;

- клас SIL 1 … SIL 3 по IEC 61508;

- категорія 1 … 4 по EN 954-1.

Конструктивні особливості резервованого PLC S7-400H передбачають дві ідентичні підсистеми, що функціонують в режимі «ведучий-підлеглий». При

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

цьому, обидві підсистеми з'єднуються оптичними лініями зв'язку синхронізації і виконують одну програму. Управління процесом здійснює «ведуча» підсистема і у випадку її відмови, функції управління без втрат даних і запитів на переривання передаються на «підлеглу» підсистему.

Можливі наступні види резервованих топологій на основі PLC S7-400H:

- одноканальна одностороння топологія (кожна підсистема S7-400H забезпечується своїм набором входів-виходів;

- одноканальна з можливістю перемикання (будується на основі резервованої мережі PROFIBUS-DP і станцій розподіленого вводу-виводу ET 200M, де кожна лінія резервованої мережі під'єднується до однієї з двох підсистем, а в активному стані знаходиться лінія «ведучої» підсистеми);

- повністю резервована (забезпечується однаковим набором модулів вводу-виводу в обидвох підсистемах S7-400H).

Всі алгоритми та програмне забезпечення, необхідне для керування технологічним процесом КС, розміщені в енергонезалежній пам'яті обох PLC і виконуються одночасно. В разі виходу з ладу одного з модулів, інший продовжує працювати. Апаратна частина обох модулів має додаткові захищені модулі аварійної зупинки технологічного обладнання, які продовжують працювати і у разі виходу з ладу обох основних процесорних модулів.

Не менш важливою задачею є забезпечення надійного каналу передачі даних між центральними процесорними модулями та модулями вводу-виводу. Промислову мережу передачі даних Industrial Ethernet побудовано за топологією «подвійне оптичне коло». Оптичний кабель забезпечує достатню швидкість передачі даних та завадозахищеність, необхідні в умовах проммайданчика КС. Топологія «подвійне оптичне коло» забезпечує надійність мережі.

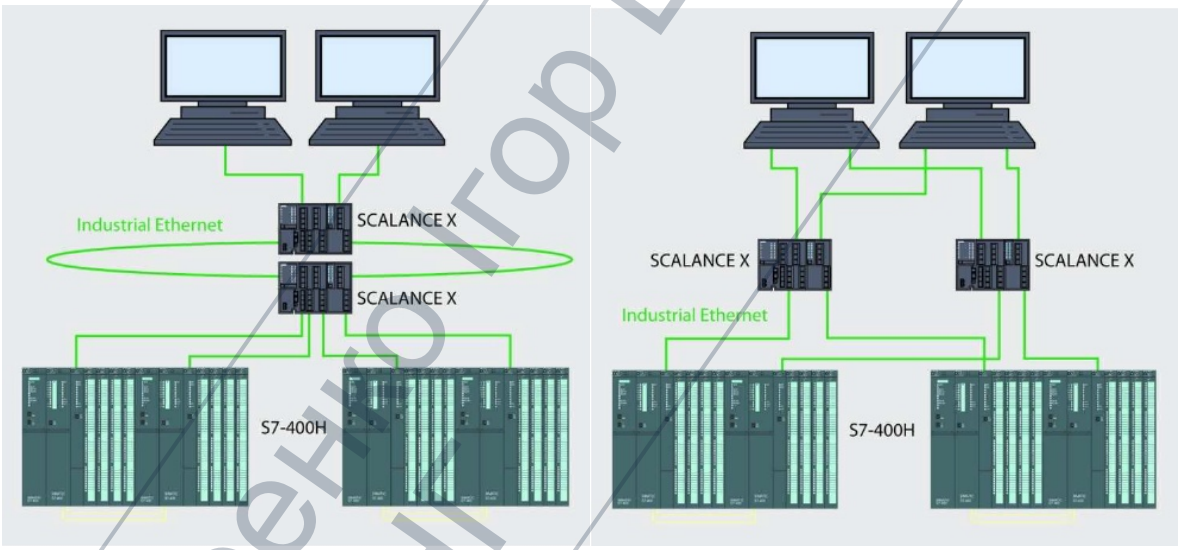
Крім резервування апаратно-програмних засобів, доцільним є також резервування каналів промислового зв'язку при організації обміну даними в АСК. Запропонована топологія організації АСК КС на основі технології розподіленого вводу-виводу дозволяє реалізувати новий спосіб організації

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

промислового зв’язку при якому механізми перевірок і синхронізації в PLC виключають можливість втрати даних. Для цього на етапі конфігурування системи промислового зв’язку необхідно організувати основні і резервні маршрути передавання даних. Обмін даними через такі канали підтримується на рівні операційної системи PLC S7-400H і не потребує додаткового алгоритмічного і програмного забезпечення.

При побудові АСК КС на основі запропонованої топології резервованого PLC S7-400H і технології розподіленого вводу-виводу застосовано мережу передачі даних Industrial Ethernet з топологією «подвійне оптичне коло».

На рис. 2.3 і 2.4 наведено варіанти топологій на основі резервованих PLC S7-400H з резервуванням каналів промислового зв’язку Industrial Ethernet на основі керованих комутаторів сімейства SCALANCE X [67].



а) кільцева топологія б) резервована топологія

Рисунок 2.3 – Топології мереж Industrial Ethernet на основі 2-х комунікаційних процесорів CP 443-1 або через вбудовані інтерфейси PROFINET CPU 41x-5H і комунікаційні пристрої SCALANCE X

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

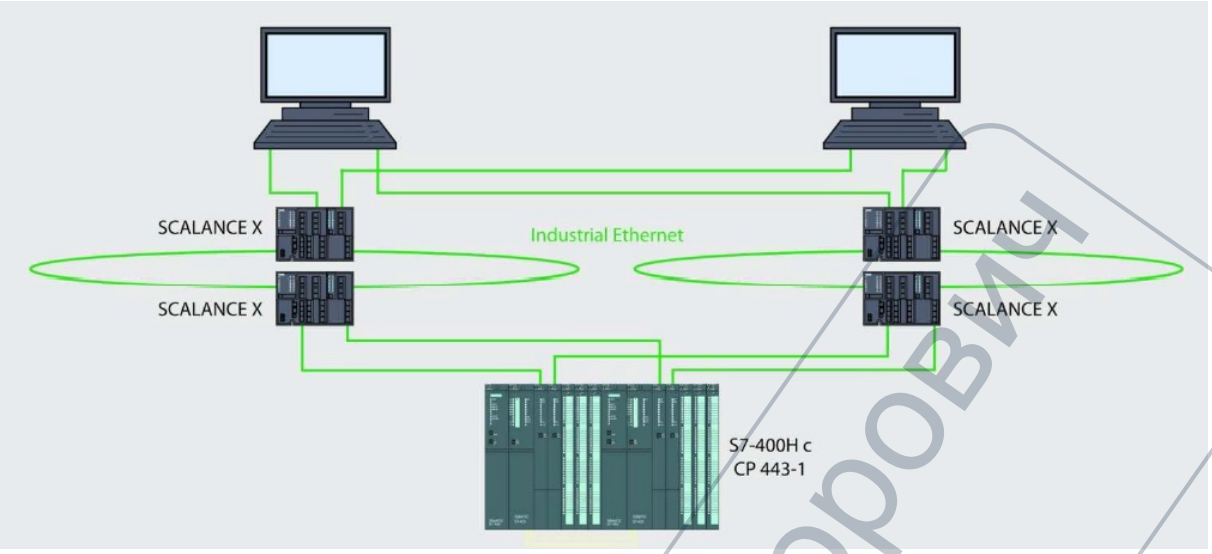
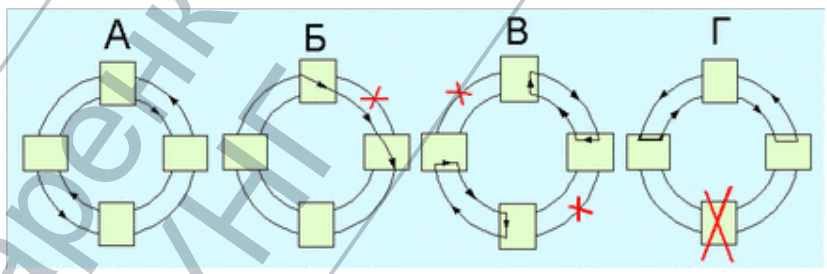


Рисунок 2.4 – Топологія подвійної кільцевої мережі Industrial Ethernet на основі 4-х комунікаційних процесорів CP 443-1 і комунікаційних пристроїв SCALANCE X

Враховуючи необхідність функціонування промислової мережі на розподілених об’єктах КС, пропонується застосування однієї з різновидностей топологій (див. рис. 2.3, 2.4) - топології «подвійне оптичне коло». На рис. 2.5 наведено варіанти відновлення функціонування мережі передачі даних з топологією «подвійне оптичне коло».



а) номінальний режим функціонування; б) відновлення функціонування мережі при порушенні цілісності оптичної лінії в одній точці; в) відновлення функціонування мережі при порушенні цілісності оптичної лінії в кількох точках; г) відновлення функціонування мережі при виході з ладу активного компонента (одна з підсистем резервованого PLC або резервованого модуля децентралізованої периферії)

Рисунок 2.5 - Варіанти відновлення функціонування мережі передачі даних з топологією «подвійне оптичне коло»

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Систему гарантованого живлення всіх компонентів системи розподіленого вводу-виводу представлено на рис. 2.6. Два джерела живлення (ДЖ), один з яких має в буфері акумуляторну батарею (АКБ) ємністю 12 Агод., підключені до різних джерел зовнішнього живлення. Через комутатор, постійна напруга 24 В подається на обладнання. За допомогою модулів вводу-виводу здійснюється постійний контроль обох джерел живлення і заряду АКБ.

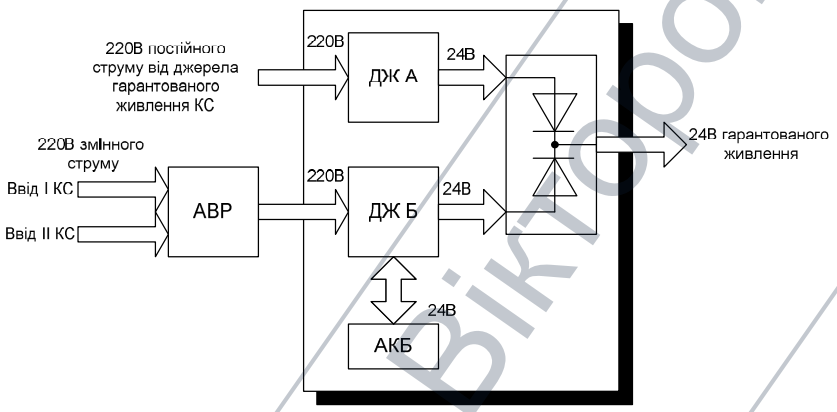


Рисунок 2.6 - Система гарантованого живлення всіх компонентів системи розподіленого вводу-виводу

На основі вищенаведених топологічних рішень необхідно розробити нові функціональні рішення автоматизації технологічного обладнання КС на базі апаратно-програмних засобів Simatic S7 (рис. 2.7). Дане рішення передбачає, що на кожному ГПА та на загальностанційному обладнанні, яке підлягає автоматизації, встановлюється система з модулями вводу-виводу аналогових та дискретних сигналів, два модулі зв’язку та система гарантованого живлення. Центральні процесорні модулі встановлюються в приміщенні диспетчерської, підключаються до системи гарантованого живлення та промислової комп’ютерної мережі. В якості верхнього рівеня системи автоматизації (візуалізація технологічних процесів, диспетчерське керування обладнанням, архівування даних, аварійні повідомлення, адміністрування прав доступу, забезпечення промислових комунікацій) повинна застосовуватись SCADA-система, яка встановлюється на робочі станції в промисловому виконанні.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

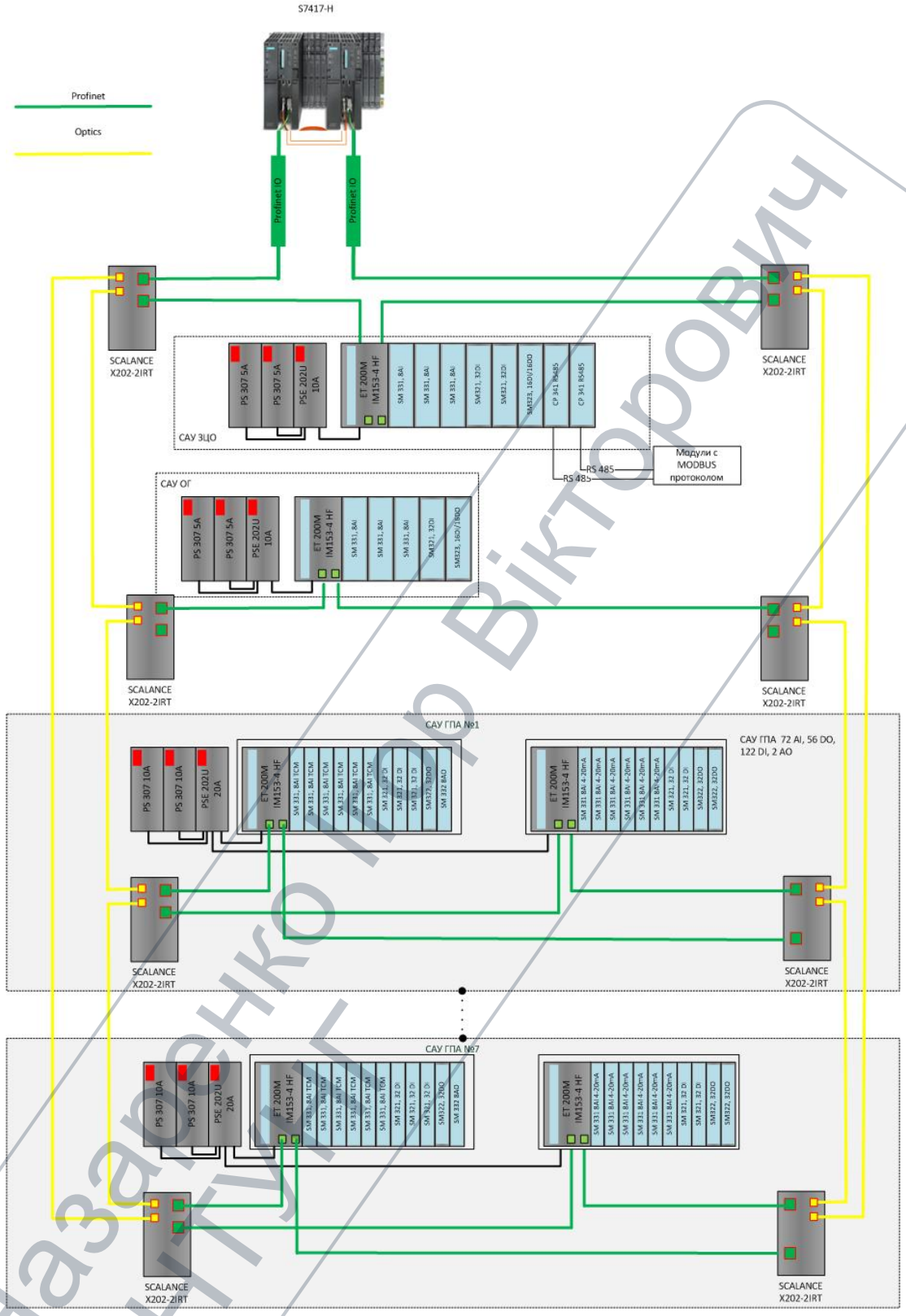


Рисунок 2.7 - Функціональна схема автоматизації КС на базі відмовостійких резервованих модулів центрального PLC та промислової оптичної мережі передачі даних з топологією «подвійне оптичне коло»

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

В зв’язку з тим, що весь математичний апарат, який використовується для контролю та керування технологічним обладнанням, розташовано безпосередньо в PLC S7-400H, можливий збій в роботі програмного забезпечення верхнього рівня під час роботи САК в автоматичному режимі не впливає на роботу програмного забезпечення контролера та перебіг технологічного процесу.

На даний час задача управління турбоагрегатами вирішена на рівні агрегатних систем автоматичного керування ГПА. У зв’язку з потребою енергозбереження при заданій ефективності роботи компресорного цеху постає задача цехового регулювання ГПА. Зараз керування на рівні цеху здійснюється диспетчером на основі розрахункових характеристик і фактичних замірів, що найчастіше має суб’єктивний характер і не забезпечує оптимального управління за мінімумом витрат ресурсів на перекачування газу. При цьому за основний критерій використовується забезпечення заданої витрати і тиску газу на виході КЦ при максимальному відведенні роботи окремих агрегатів від аварійних режимів (режимів помпажу).

Враховуючи вищенаведене, комплексна автоматизація основного та допоміжного технологічного обладнання КС шляхом впровадження централізованої системи автоматичного керування з використанням технології розподіленого вводу-виводу є доцільною (з точки зору витрат на впровадження та експлуатаційні витрати) платформою для створення цехової системи керування. Така система має можливість забезпечити оптимальний вибір схеми включення окремих агрегатів, розподілу у заданому співвідношенні навантаження між агрегатами та керування ними в зоні безпечної роботи. Виходячи з мінімуму витрат енергії на перекачування газу вона є актуальною науково-технічною задачею, яка повинна вирішуватись шляхом математичного та алгоритмічного моделювання з подальшою автоматичною генерацію моделей в програмний код PLC [68].

Для апробації [23] і перевірки працездатності запропонованої топології на основі уніфікованих процедур і апаратно-програмних засобів виконано:

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- проект САК на основі резервованої пари PLC Simatic S7-400H;

- визначено апаратні засоби САК і виконано їх конфірурування;

- виконано параметрування сигнальних модулів PLC;

- налагоджено інтерфейси зв’язку і комунікаційні з’єднання;

- створено і відладжено управляючу програму на мовах IEC 61131-3;

- створено базу даних тестових сигналів та імітаційні моделі для імітації та дослідження режимів роботи САК;

- скомпільовано і завантажено конфігурацію і управляючу програму в PLC або PLCSIM (програму-симулятор);

- запущено PLC або PLCSIM і виконано необхідні тести та перевірки.

На рис. 2.8 показано розроблену конфігурацію апаратних засобів САК на основі резервованої пари PLC Simatic S7-400H, яка включає:

- центральні стійки з резервованою парою PLC (Simatic S7-400H);

- резервовані станції децентралізованої периферії (Simatic ET-200M);

- промислові комутатори з оптичним каналом (SCALANCE-X202-2IRT);

- промислові комунікаційні шини (Industrial Ethernet).

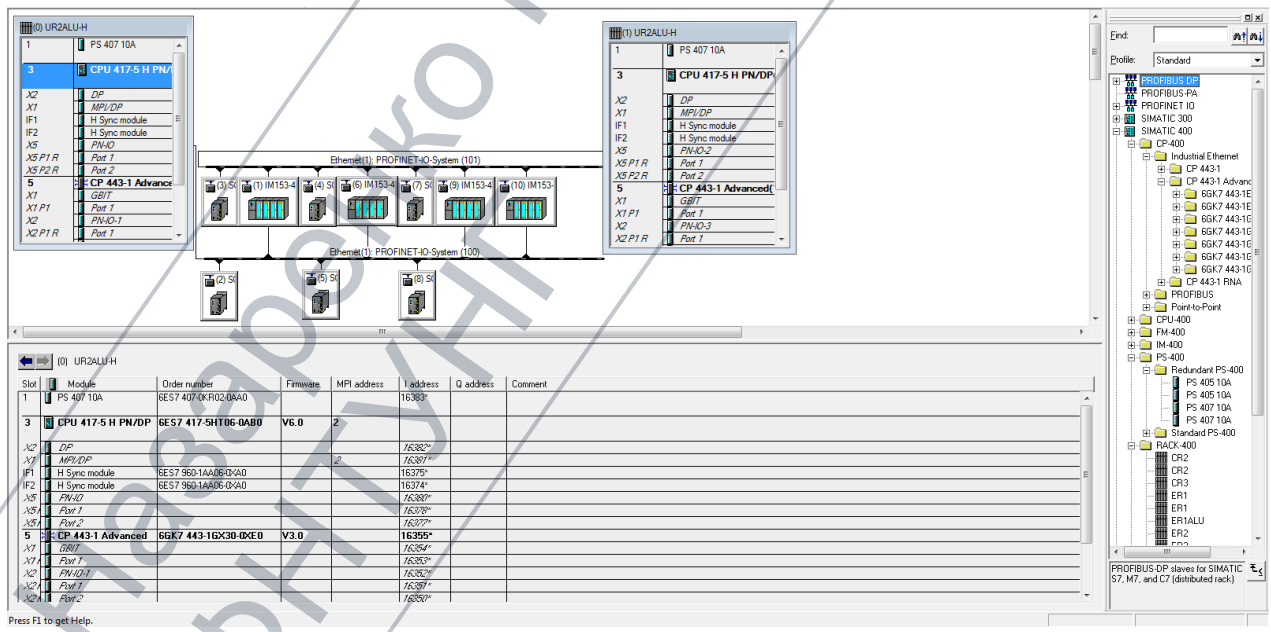


Рисунок 2.8 – Конфігурація апаратних засобів на основі резервованої пари PLC Simatic S7-400H (центральна стійка)

Лазаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Центральна стійка PLC включає наступні модулі:

- блок живлення (Power Supply) PS 407 10A (встановлюється у 1-й і 2-й слоти центральної стійки);

- центральний процесор (Central Processig Unit) CPU 417-5H PN/DP (встановлюється у 3-й і 4-й слоти центральної стійки);

- комунікаційний процесор (Communication Processor) CP 443 Advanced сигнальні (встановлюється в 5-й слот центральної стійки).

Станція децентралізованої периферії (Distributed Peripheral) ET 200M включає:

- інтерфейсні модулі (Interface Module) IM 153-4PN, що забезпечують збір і обмін даними з мережевими пристроями PROFIBUS DP і PROFINET (рис. 2.9);

- сигнальні модулі (Signal Module) SM для обробки аналогових і цифрових сигналів.

Інтерфейсний модуль IM 153-4PN є головним модулем станції децентралізованої периферії ET 200M. В залежності від типу, до одного інтерфейсного модуля може бути підключено до 8-ми або до 12-ти сигнальних модулів. Залежно від вимог до систем розподіленого вводу-виводу, а також типу ведучого мережевого пристрою, станція ET 200M комплектується інтерфейсними модулями різних модифікацій.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

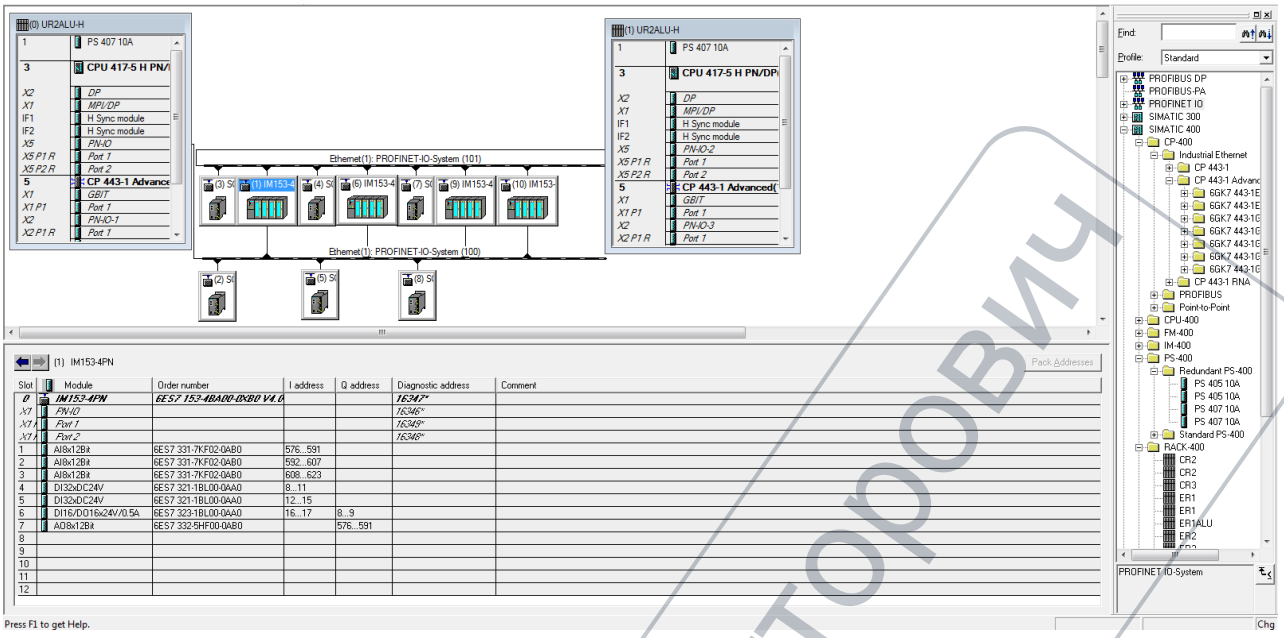


Рисунок 2.9 - Конфігурація апаратних засобів станції децентралізованої периферії (склад ET 200M)

На рис. 2.10 наведено параметри інтерфейсного модуля IM 153-4PN станції децентралізованої периферії ET 200M.

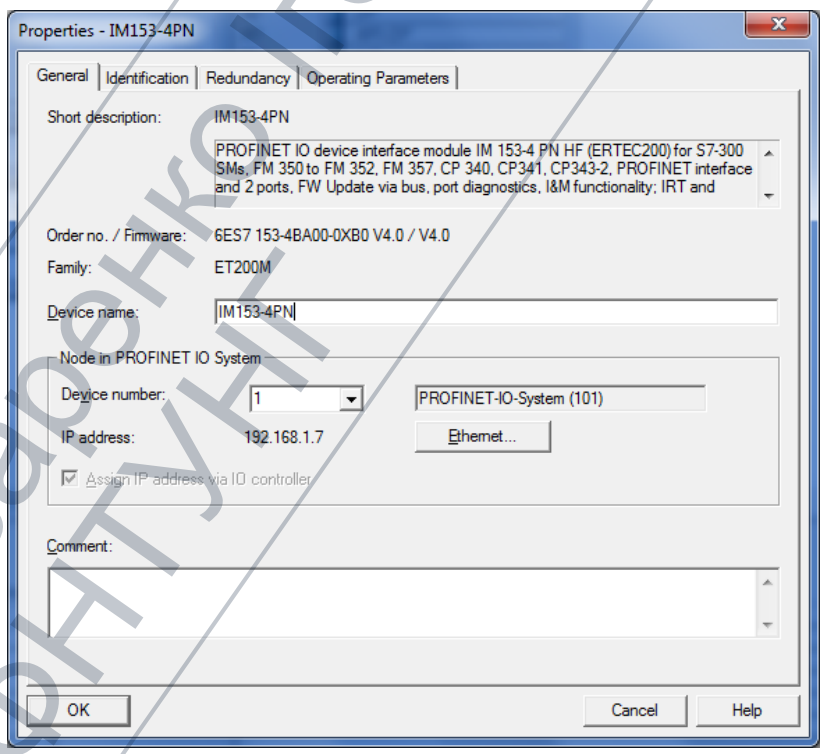


Рисунок 2.10 - Параметри інтерфейсного модуля IM 153-4PN станції децентралізованої периферії ET 200M

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Після виконання всіх процедур конфігурування апаратних засобів виконується процедура параметрування сигнальних модулів.

2.1.2 Задачі параметрування сигнальних модулів PLC

Однією з відповідальних задач при побудові САК є обгрунтування вибору первинних перетворювачів фізичних величин [69] і виконавчих пристроїв, а відповідно і параметрування сигнальних модулів PLC. При цьому, в процесі експлуатації САК часто виникає необхідність у більш точному підборі для ефективного функціонування САК вищевказаних пристроїв, що вимагає універсальності від сигнальних модулів PLC (в плані можливості параметрування основних типів і діапазонів вимірювання).

З основних типів вхідних аналогових сигналів (Analog Input) визначено E (voltage – напруга), 4DMU (current 4-wire transduser – 4-х провідний струмовий перетворювач), 2DMU (current 2-wire transduser – 2-х провідний струмовий перетворювач), R4L (resictor 4-conductor terminal – резистивний мостовий перетворювач), RT – (resistor thermal, linear – резистивний термоперетворювач з лінійною характеристикою), TC-I – (thermocouple internal comparison - термопара з внутрішньою компенсацією), TC-E (thermocouple external comparison - термопара з зовнішньою компенсацією), TC-IL (thermocouple internal comparison, linear - термопара з внутрішньою компенсацією і лінійною характеристикою), TC-EL (thermocouple external comparison, linear - термопара з зовнішньою компенсацією і лінійною характеристикою). Відповідно до кожного типу вхідного сигналу технологічного параметру повинна забезпечуватись обробка уніфікованого діапазону. Нижче наведено результати параметрування сигнального модуля обробки аналогових сигналів SM 331 AI8x12Bit (рис. 2.11). SM 331 AI8x12Bit є універсальним аналоговим сигнальним модулем, що забезпечує роботу з більшістю типів і діапазонів вимірювань.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

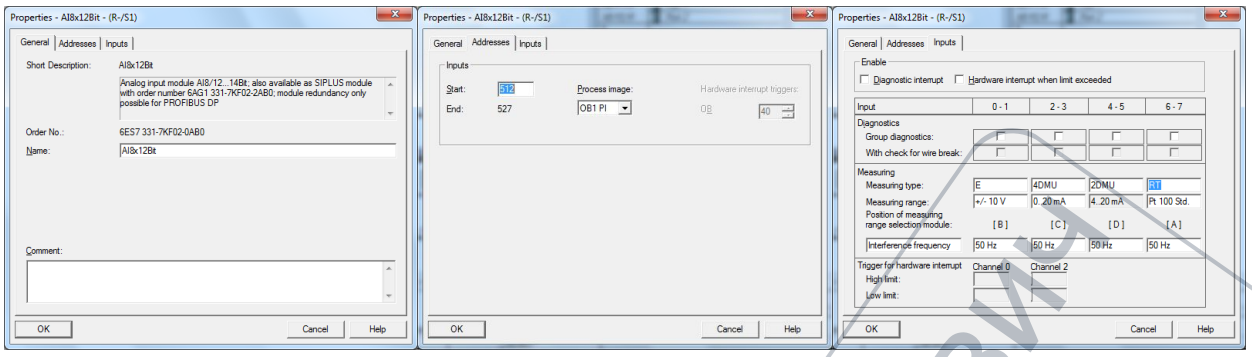


Рисунок 2.11 - Параметри сигнального модуля обробки аналогового сигналу SM 331 AI8x12Bit

Сигнальний модуль SM 331 AI8x12Bit включає 8 аналогових вимірювальних каналів в 4-х групах з функціями діагностичних переривань (Diagnostic Interrapt) і апаратних переривань (Hardware iterrupt when limit exeeded) за перевищенням граничних значень вхідного сигналу (роздільна здатність вимірювання налаштовується для кожної з групи каналів). Для кожної групи параметрується тип і діапазон вимірювання (рис. 2.12).

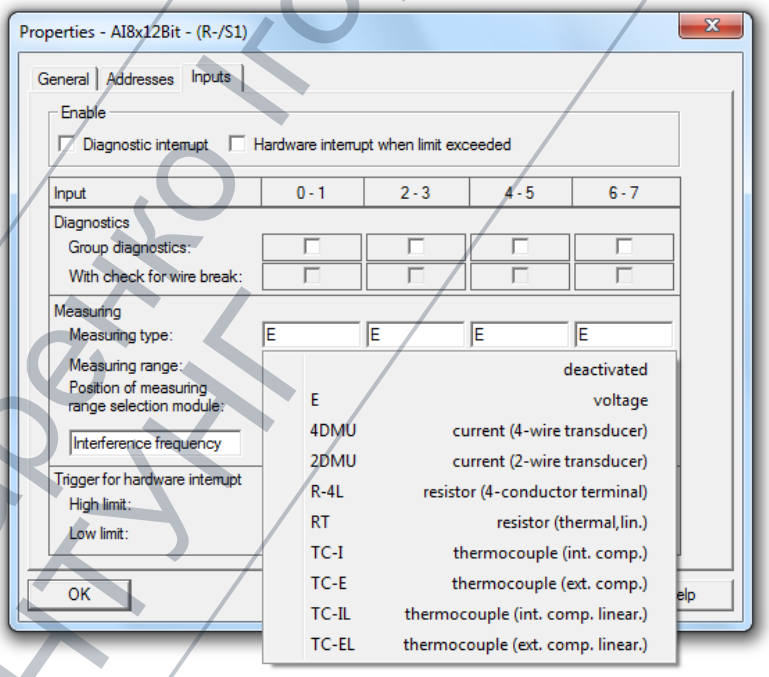


Рисунок 2.12 - Параметрування SM 331 AI8x12Bit (Measuring Type – тип вимірювання)

Доступні типи і діапазони вимірювань наведені в додатку А.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Аналогічним способом параметруються інші типи сигнальних модулів для обробки аналогових та цифрових сигналів (Analog Output – AO, Digtal Input – DI, Digital Output – DO). Крім того САК, побудовані на основі уніфікованих аппаратно-програмних засобів можуть комплектуватися специфічними функціональними модулями (Functional Module – FM) для виконання функцій швидкісних лічильників, регуляторів, керування переміщеннями і комунікаційними процесорами (Communication Processor – CP) для підтримки промислових мереж і переходу між ними.

Таким чином, застосування вищевказаних уніфікованих апаратно-програмних засобів і процедур проектування забезпечує універсальність їх застосування при побудові САК різного рівня складності, розгалуженості, сумісності, а також забезпечує можливість розширення і модернізації на будь-якому етапі проектування, виготовлення та експлуатації.

2.1.3 Організація і налагодження комунікаційних з’єднань

Створення і налагодження комунікаційних з’єднань між компонентами САК передбачає налаштувати типу інтерфейсу і його параметрів.

Для комунікації між робочою станцією і PLC - Set PG/PC Interfase (рис. 2.13) (в залежності від конфігурації робочої станції і PLC є доступні основні промислові шини MPI (Multiple Point Interfact – багатоточковий інтерфейс «Siemens»), Profibus (Process Field Bus – промислова польова шина), IE (Industrial Ethernet – промислова шина Ethernet) інш., або відповідні імітаційні шини (наприклад PLCSIM.TCP IP).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

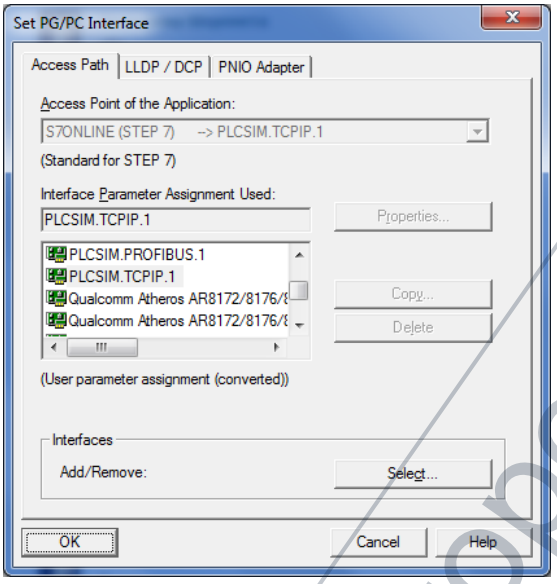


Рисунок 2.13 – Приклад доступних комунікацій PG/PC Interfase

На рис. 2.14 показано інструмент інсталяції та деінсталяції інтерфейсів зв’язку робочої станції з PLC - PG/PC Interfase.

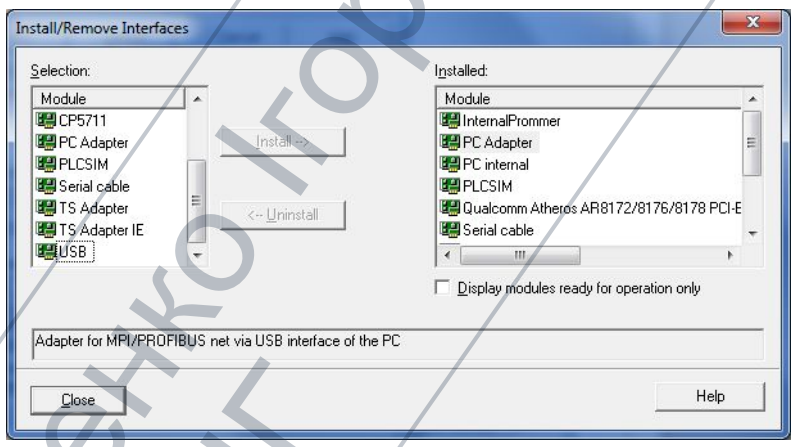


Рисунок 2.14 – Інструмент інсталяції та деінсталяції інтерфейсів зв’язку робочої станції з PLC - PG/PC Interfase

Після налаштування інтерфейсів робочої станції з PLC проведено комплексну перевірку комунікаційних з’єднань в програмному модулі «NetPro» (рис. 2.15). Модуль «NetPro» створює з’єднання в автоматичному режимі на основі апаратної конфігурації виконаної в «HW Config». Крім того, в модулі «NetPro» виконується верифікація комунікаційних з’єднань і вивід повідомлень про помилки.

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

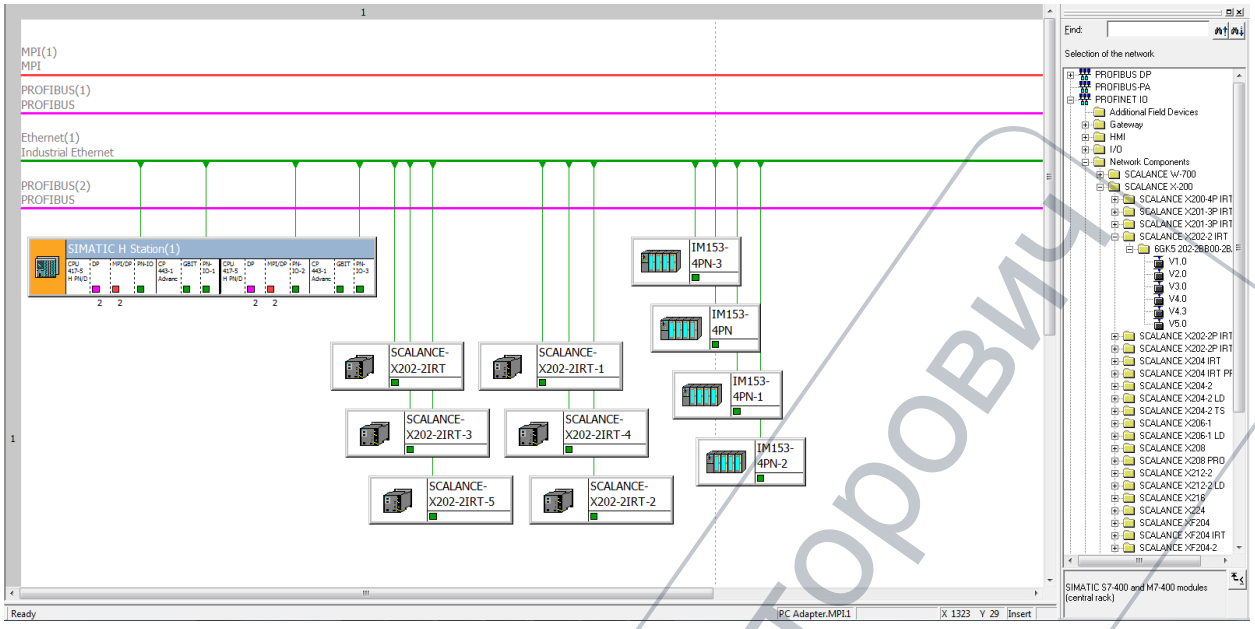


Рисунок 2.15 – Схема комунікаційних з’єднань проекту САК в програмному модулі «NetPro»

На рис. 2.16 наведено результати розробки мережевої САК на основі резервованої пари PLC з розподіленим вводом-виводом у вигляді топології з застосуванням уніфікованих апаратно-програмних засобів Simatic S7 і проектних процедур, а також налаштованими комунікаційними з’єднаннями.

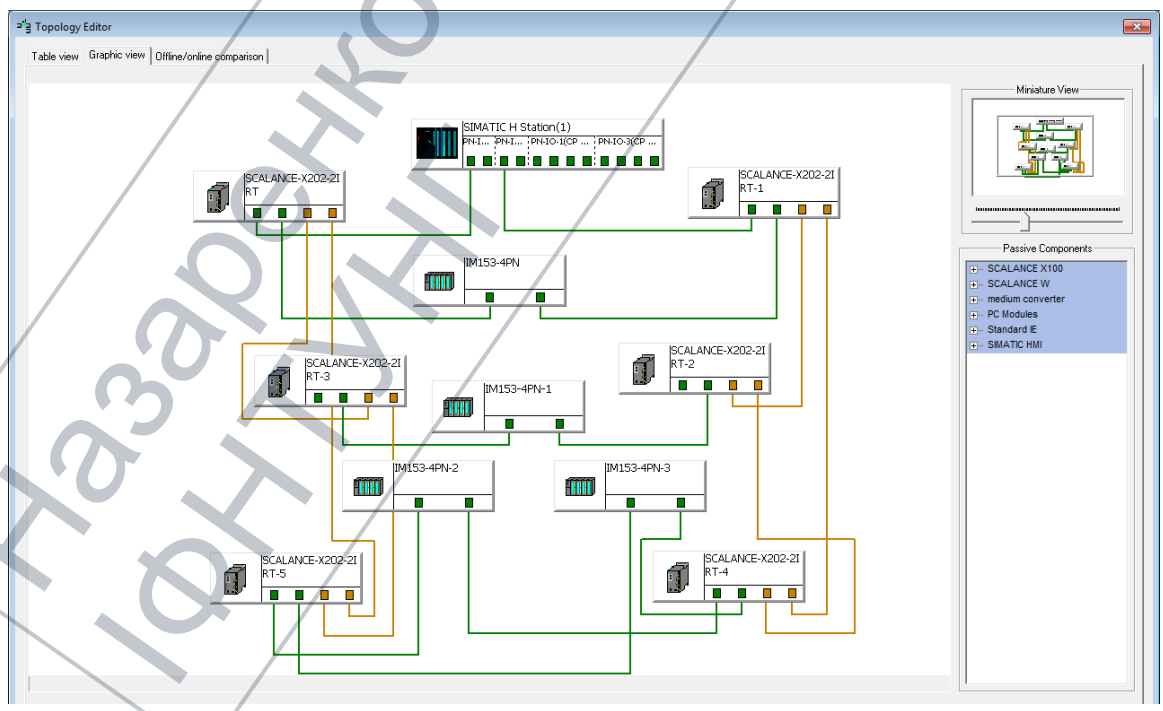


Рисунок 2.16 – Мережева топологія апаратних засобів

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Після створення проекту САК в програмному модулі «HW-Config» і налагодження комунікаційних зв'язків проект підлягає компіляції перед завантаженням в PLC (рис. 2.17).

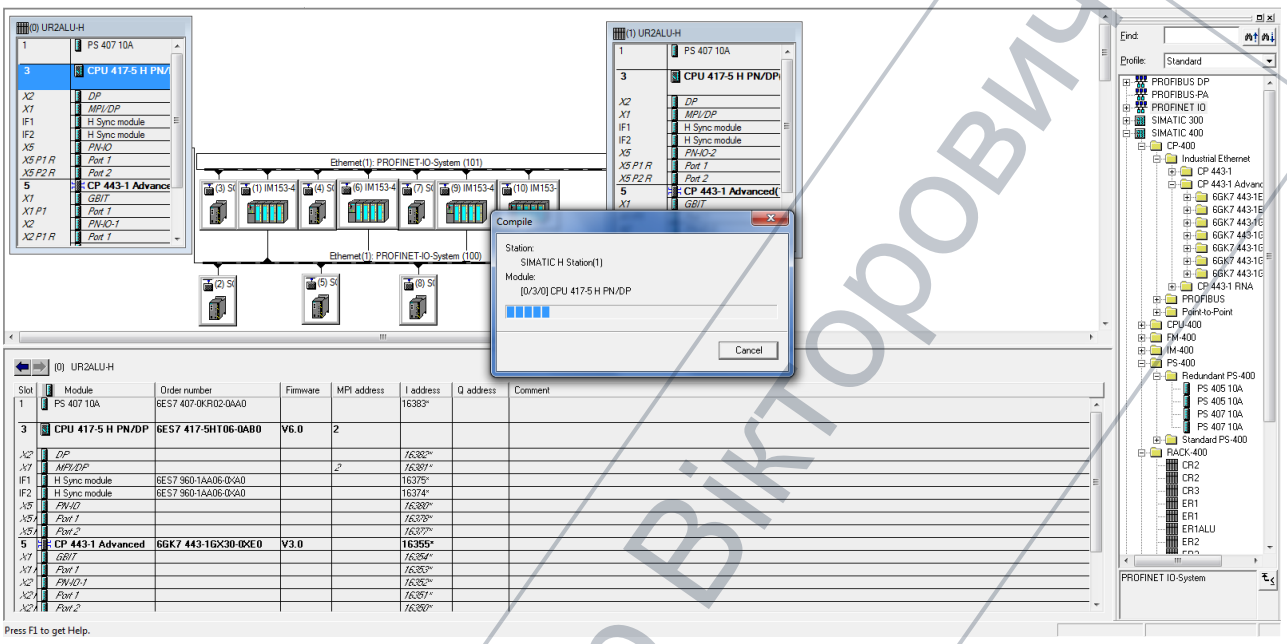


Рисунок 2.17 – Компіляція проекту в програмному модулі «HW-Config» перед завантаженням в PLC

Таким чином застосування уніфікованих апаратно-програмних засобів і проектних процедур дозволяє у повній мірі застосовувати сучасні інформаційні технології для побудови і верифікації на етапі проектування САК з широким набором топологічних рішень, технологією розподіленого вводу-виводу, діагностичними функціями та можливісю імітації режимів роботи САК на усіх етапах розробки чи експлуатації.

2.2 Формалізація і нормування інформаційних потоків САК КС

Класифікація об'єктів ГТС є частиною інформаційного забезпечення технічного проекту «Автоматизована система керування для збору, зберігання та обробки даних центрального диспетчерського пункту»

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

ПАТ «Укртрансгаз» [70]. Необхідність розробки класифікації зумовлена, значною кількістю розподілених технологічних об’єктів, що обслуговуються АСК та значною кількістю самих технологічних параметрів і неохідністю їх систематизації та однозначної ідентифікації кожного з них. Тому метою розробки системи класифікації та кодування інформації є створення правил присвоєння імен технологічним параметрам об’єктів газотранспортної системи.

Стосовно ПАТ «Укртрансгаз» такими об’єктами є: лінійна частина магістральних газопроводів, компресорні станції, підземні сховища газу, газорозподільні станції, газовимірювальні станції та пункти вимірювання витрати газу, автомобільні газонаповнювальні компресорні станції, лінії і споруди технологічного зв'язку і телемеханіки, лінії електропередач та інші споруди для обслуговування магістральних газопроводів

В свою чергу, технологічні споруди газотранспортної системи, за своїм призначенням поділені на окремі частини – агрегати, вузли та інші об'єкти та устаткування.

Загальна кількість технологічних параметрів складає близько 500 тисяч, тому для зручності роботи адміністратора системи безпосередньо з таблицею параметрів їх кількість, в одному зрізі, необхідно обмежити (наприклад одним агрегатом).

Тому, розробка системи класифікації технологічних параметрів надасть можливість створення унікальних імен, а також дозволить виконувати різного роду фільтрацію параметрів за їх іменами для формування ефективних запитів до баз даних.

2.2.1 Принципи формування імен та елементи структури

Побудова системи класифікація є одним з найважливіших етапів проектування інформаційного забезпечення; вона також забезпечує основу аналізу і моделювання інформаційних потоків. Щоб класифікувати об’єкти будь-якої природи, необхідно визначити набір класифікаційних ознак, що визначають підставу розподілу об’єктів.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Будь-яка класифікація інформації має відповідати таким основним вимогам [71]:

- забезпечення повноти охоплення об’єктів множини, що вивчається;
- неперетинання груп об’єктів, що виділяються;
- можливість включення нових груп об’єктів;
- лаконічність, чіткість і зрозумілість класифікаційних ознак;
- незмінність прийнятої класифікаційної ознаки на всіх рівнях класифікації.

До основних систем класифікації інформації належать ієрархічна, фасетна і змішана [71].

Ієрархічна система класифікації — це система, у якій поділ множини об’єктів на підмножини виконується послідовно згідно із заданими ознаками. Первинна множина об’єктів спочатку поділяється на підмножини, утворені за однією ознакою, котра може набувати різних значень. Далі кожна здобута підмножина поділяється на групи за значеннями наступної ознаки. Ці групи у свою чергу поділяються на підгрупи за наступними ознаками і т.д. Між виділеними групами об’єктів встановлюється певна ієрархія. При цьому кожна підмножина належить лише одній вищій множині. Ієрархічна система класифікації характеризується глибиною, тобто кількістю ступенів поділу первинної множини, або, що те саме, кількістю заданих ознак класифікації. Ієрархічній системі класифікації притаманні простота, наочність, логічність побудови, добра пристосованість до ручного оброблення. Вадами такої системи є жорсткість структури через фіксованість ознак і порядку їх розміщення, складність включення нових ознак, необхідність великого резерву місткості.

Фасетна класифікація полягає в паралельному поділі множини об’єктів на незалежні підмножини (класифікаційні угрупування). Послідовність створення фасетних угрупувань задається фасетною формулою:

$$\Phi = (\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_n).$$

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Переваги фасетної системи класифікації полягають у гнучкості її структури, можливості включення нових фасет і виключення старих. До вад такої системи можна віднести нетрадиційність і складність її використання в разі ручного оброблення даних і недостатньо повне використання місткості з огляду на те, що багато можливих комбінацій фасет не мають практичного застосування.

Змішана система класифікації передбачає використання обох згаданих систем. В ієрархічній системі класифікації на будь-якому рівні підмножини елементи не повинні перетинатися. Сума елементів усіх множин кожного рівня дорівнює кількості елементів первинної (початкової) множини. Для фасетної класифікації це не є обов'язковим, сума елементів підмножини може бути більшою за кількість елементів початкової множини. Для фасетної системи обов'язковим є неповторюваність ознак.

При утворенні системи класифікації та кодування для об'єкту застосовуються різноманітні комбінації методів класифікації та кодування, вибір яких залежить від призначення класифікатора, специфіки вирішуваних завдань та вибору обчислювальної техніки.

До кодів ставляться такі вимоги [71]:

- забезпечення розв'язання всіх задач системи за їх мінімальної довжини кодів;

- єдність кодів на всіх рівнях;

- структура коду повинна забезпечити групування інформації в необхідних розмірах.

Для відтворення інформаційної моделі газотранспортної системи, яка повинна максимально відповідати існуючій структурі системи, виконувати всі задачі та функції автоматизованої системи керування, що розробляється, доцільно використовувати змішаний метод класифікації та послідовний засіб формування кодів.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Ключовим елементом в системі керування ГТС є диспетчерський пункт керування (ДПК), який концентрує та уніфікує інформаційні потоки з систем нижнього рівня (систем автоматичного керування технологічним процесом, тощо) на рівень ЦДП або ДПП (диспетчерський пункт підприємства). Виходячи з цього, для рівня ЦДП чи ДПП джерелом інформації є ДПКС.

При формуванні системи імен параметрів необхідно керуватись певними принципами. Зокрема, ім'я повинно бути інформативним, асоціативним, максимально коротким та включати в себе наступні ідентифікатори:

- адміністративної приналежності;
- ДПК, який є власником параметру;
- типу агрегату (вузла) до якого належить параметр;
- магістрального газопроводу;
- типу параметра (тиск, температура тощо).

Перелічені ідентифікатори (атрибути) та їх комбінації дозволять робити відповідні незалежні інформаційні зрізи бази даних параметрів.

Для опису приналежності, яка не може бути формалізована через механізм ідентифікаторів, необхідно ввести додаткове поле змінної довжини для додаткової текстової інформації.

У відповідності до принципів, викладених в п. 2.2.1, першим полем класифікатора представлено об'єкт адміністративного рівня в структурі ПАТ «Укртрансгаз» – тобто УМГ. Враховуючи, що до складу ПАТ «Укртрансгаз» входять шість таких управлінь, для кодування даного атрибуту достатньо 1-го знаку.

Друге поле класифікатора ідентифікує ДПК, який є джерелом параметра. Для асоціативності, це поле логічно асоціювати з назвою компресорної станції, ЛВУ чи, власне, ДПК. Для кодування поля достатньо трьох знаків.

Третє поле ідентифікує МГ до якого належить об’єкт класифікації. Наприклад, для технологічних параметрів компресорних цехів це поле буде означати МГ на якому виконується компримування; для ГРС цей код буде

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

означати МГ, до якого підключено відвід до ГРС. Враховуючи прийнятий принцип кодування МГ в ПАТ «Укртрансгаз» у вигляді номера, доцільно використати двозначне поле.

Четверте поле. Для зручної роботи з базою даних параметрів, доцільно ввести також код типу вузла (агрегату, установки). Це дасть можливість, наприклад, відібрати параметри, які відносяться до певного ГПА (ГРС, ПВВГ тощо) і працювати тільки з ними. Для кодування цього поля достатньо двох знаків.

П’яте поле ідентифікує фізичну (або розрахункову) величину, яка вимірюється – тиск, температура тощо. Це дозволить відібрати параметри, наприклад, виміру температури.

Останнє поле має змінну довжину і призначене для додаткової ідентифікації параметра, якщо попередніх ідентифікаторів виявилось недостатньо. Це поле повинно бути текстовим.

2.2.2 Реалізація і приклади кодування

Для можливості використання імені в різних операційних системах, для кодування імен параметрів необхідно використовувати тільки латинські літери «A..Z» та «a..z», а також цифри «0..9» та символ крапки «.».

Ім’я параметра (надалі - ідентифікатора) складається з чотирьох полів, розділених крапкою:

AAAA.BB.CCC.DD_d.d (для аналогових параметрів);
AAAA.BB.CCC.d…d (для дискретних параметрів).

Перше поле **(AAAA)** складається з двох частин: перша прописна літера – код адміністративної одиниці, друга (три прописні літери) – код ДПК. Приклад кодів адміністративних одиниць та ДПК наведені в табл. 2.1.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Таблиця 2.1 – Приклади кодів адміністративних одиниць

Частина	Код	Опис
K - УМГ Київтрансгаз		
	KBRD	ДП Бердичів
	KDIK	ДП Диканька
	KZIN	ДП Зінків
	KRES	ДП Решетилівка
	KSUM	ДП Суми
	KROM	ДП Ромни
	KYAG	ДП Яготин
	KKRS	ДП Красилів
	KBOJ	ДП Боярка
	KOLI	ДП Олишівка
	KLUB	ДП Лубни
	KGRB	ДП Гребеньківська
	KMRN	ДП Мрин
	KSOL	ДП Солоха

Друге поле ідентифікатора **(BB)** з двох цифро-буквених символів – це код магістрального газопроводу до якого належить об'єкт газотранспортної системи.

Третє поле ідентифікатора **(CCC)** складається з двох частин. Перша частина - одна або дві літери, які ідентифікують технологічний об’єкт (коди в табл. 2.2). У випадку ідентифікації параметрів агрегатів компресорних станцій та станційних параметрів використовуються дві літери, у всіх інших випадках – одна. Друга частина складається показує номер об’єкта (для агрегатів та секцій) або його індекс.

Таблиця 2.2 – Коди технологічних об’єктів ГТС

Код	Опис
S - Станційні	
SA	Загальні
SV	Станційні крани
SE	Система електрозабезпечення
SP	Апарат повітряного охолодження
SU	Установка очищення газу
SB	Блок підготування пускового, паливного та імпульсного газів
SO	Система маслозабезпечення

Назаренко Ігор Викторович
КНТУНГ

Продовження табл. 2.2

SQ	Система водозабезпечення
SN	Автоматична насосна пожежна установка
SZ	Будівлі та системи вентиляції, кондиціонування, каналізації та безпеки
C - Агрегатні	
CA	Загальні
CV	Агрегатні крани
CD	Параметри двигуна
CN	Параметри нагнітача
L - Лінійна частина (ЛЧ)	
G - Газорозподільна станція (ГРС)	
A - Автомобільні газонаповнювальні компресорні станції (АГНКС)	
P - Підземне сховище газу (ПСГ)	
R - Вузли редукування газу	

Четверте поле імені **(DD_d...d або d…d)** – допоміжне поле, яке використовується для кодування типу параметру, речовини чи об’єкта, де проводиться вимірювання або інформації про параметр, та може мати довільну довжину. Для аналогових параметрів поле повинно починатись з двох великих літер, які показують тип технологічного параметра та речовину чи об’єкт де проводяться вимірювання. За ними йде знак підкреслення а потім будь-який текст, що надає додаткову інформацію про параметр (необов’язкове поле). Для дискретних параметрів четверте поле починається з маленької літери і несе інформацію про параметр. Типи аналогових параметрів наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Коди типів аналогових параметрів та речовин

Код	Опис	Код	Опис	Код	Опис
P	Тиск	**F**	Частота	**D**	Постійний струм
T	Температура	**K**	Коефіцієнт	**Z**	Змінний струм
D	Перепад	**L**	Рівень	**C**	Об’єкт
E	Потенціал	**N**	Кількість	**S**	Сталь
U	Напруга	**M**	Меркаптан	**M**	Мідь
I	Сила струму	**G**	Газ	**X**	Масло-газ
W	Потужність	**O**	Масло	**E**	Електроенергія
Q	Об’єм	**A**	Вода	**R**	Щільність
V	Вібрація	**V**	Повітря		

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Для прикладу, ідентифікатор параметру:

KBOJ.83.CN5.PG_vhid,

означає «Тиск газу на вході нагнітача», який належить до п’ятого ГПА компресорної станції Боярка, яка обслуговує МГ «Київ - Захід України-1, 2» «Боярського» ЛВУ МГ, яке підпорядковується УМГ «Київтрансгаз», а ідентифікатор параметру:

DNVP.31.G05.DG_sdob,

означає «Середньодобовий перепад тиску газу», який належить до параметрів ГРС «Біловодськ», яка обслуговує МГ «Краснодарський Край-Серпухів», Новопсковського ЛВУ МГ, який підпорядковується УМГ «Донбастрансгаз».

В табл. 2.4 приведено приклади кодів МГ (коди потрібні для ідентифікації об’єктів, які обслуговують більш ніж один магістральний газопровід).

Таблиця 2.4 – Коди магістральних газопроводів

Магістральний газопровід	**Код**
Амвросіївка – Горлівка – Слов’янськ	01
Амвросіївка – Донецьк	02
Ананьїв – Тираспіль – Ізмаїл	03
Більськ – Суми	04
Богородчани – Івано-Франківськ	05
Вільховська ПГРС – Луганська ГРС-2	06
Газопровід-відгалуження до м. Кіровоград	07
Дашава – Київ	08
Джанкой – Феодосія – Керч	09
Диканька – Кременчуг – Кривий Ріг	10
ДКС – Більче-Волиця – КЗУ-2	11
Долина – Ужгород – держкордон	12

В табл. 2.5 приведено приклади кодів ГРС відповідного ЛВУ МГ

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Таблиця 2.5 – Приклади кодів ГРС Долинського ЛВУ МГ

МГ	Назва ГРС	Код
17	ГРС с. Витвиця Долинський р-н Івано-Франківська обл	01
65	ГРС с. Лука Калуський р-н Івано-Франківська обл	02
65	ГРС с. Буянів Жидачівський р-н Львівська обл	03
12	ГРС м. Долина (КС АГНКС) Івано-Франківська обл.	04
12	ГРС с. Вигода Долинський р-н Івано-Франківська обл.	05
12	ГРС с. Мислівка Долинський р-н Івано-Франківська обл.	06
12	ГРС с. Вишків Долинський р-н Івано-Франківська обл.	07
68	ГРС - 2 м. Калуш Калуський р-н Івано-Франківська обл.	08
68	ГРС с. Войнилів Калуський р-н Івано-Франківська обл.	09
69	ГРС с. Болехів Болехівський р-н Івано-Франківська обл.	10
69	ГРС с. Яворів Долинський р-н Івано-Франківська обл.	11
69	ГРС с. Підбереж Болехівський р-н Івано-Франківська обл.	12

2.2.3 Визначення основних та ідентифікація вхідних і вихідних технологічних параметрів об'єктів керування

Для уніфікації та однозначності визначення основних вхідних і вихідних параметрів об'єктів керування пропонується перелік на основі визначеної в п. 2.2 класифікації.

В табл. 2.6 визначено параметри та їх ідентифікатори компресорної станції.

Таблиця 2.6 – Визначення параметрів та їх ідентифікаторів КС

Опис	Ідентифікатор
Рівень води в резервуарі №, $м^3$	KBOJ.83.SQ0.LA_rez5
Тиск води на проммайданчику, $кгс/см^2$	KBOJ.83.SQ0.PA_prommajd
Контроль живлення, В	KBOJ.83.SA0.UZ_kontrol
Частота змінного струму, Гц	KBOJ.83.SE0.FZ
Напруга змінного струму вводу №, В	KBOJ.83.SE0.UZ_vvod3
Тиск газу на вході компресорного цеха (нитка 1), $кгс/см^2$	KBOJ.83.SA0.PG_vhidKC_n1
Тиск газу на вході компресорного цеха (нитка 2), $кгс/см^2$	KBOJ.83.SA0.PG_vhidKC_n2
Тиск газу на виході компресорного цеха (нитка 1), $кгс/см^2$	KBOJ.83.SA0.PG_vyhidKC_n1
Тиск газу на виході компресорного цеха (нитка 2), $кгс/см^2$	KBOJ.83.SA0.PG_vyhidKC_n2
Температура газу на вході компресорного цеха (нитка 1), ^oC	KBOJ.83.SA0.TG_vhidKC_n1
Температура газу на виході компресорного цеха (нитка 1), ^oC	KBOJ.83.SA0.TG_vyhidKC_n1
Температура газу на вході компресорного цеха (нитка 2), ^oC	KBOJ.83.SA0.TG_vhidKC_n2
Температура газу на виході компресорного цеха (нитка 2), ^oC	KBOJ.83.SA0.TG_vyhidKC_n2
Тиск зовнішнього повітря, мм.рт.ст.	KBOJ.83.SA0.PV
Температура зовнішнього повітря, ^oC	KBOJ.83.SA0.TV
Температура газу на виході № агр., ^oC	KBOJ.83.SA0.TG_vyhid_gr2
Температура газу після апарату повітряного охолодження, ^oC	KBOJ.83.SP0.TG_za_APO
Активна потужність вводу №, МВТ	KBOJ.83.SE0.WZ_akt_vvod2

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Продовження табл. 2.6

Опис	Ідентифікатор
Реактивна потужність вводу №, МВАР№, МВТ	KBOJ.83.SE0.WZ_reakt_vvod1
Струм трансформатору ТСН №, А	KBOJ.83.SE0.IZ_trans
Вентилятор відсмоктування №	KBOJ.83.SZ0.vent_vidsm4
Насос НТВ№ (насос технологічної води) НТВ №	KBOJ.83.SQ0.nasos_teh_vod5
Пожежний насос ПН №	KBOJ.83.SN0.pozh_nasos5
Насос НХВ№ (насос хозвиробництва)	KBOJ.83.SQ0.nasos_hoz3
Насос проммайданчику	KBOJ.83.SQ0.nasos_prommayd
Артсвердловина №. Насос занурення	KBOJ.83.SQ0.artsverd2
Рівень резервуара води РВ №	KBOJ.83.SQ0.riven_rez1
Машинне відділення	KBOJ.83.SZ0.mashviddil
Група 1. АВВ (В1, В2)	KBOJ.83.SE0.avv_v1_v2
Група 2. АВВ (В4, В6)	KBOJ.83.SE0.avv_v4_v6
Група 3. АВВ (В3, В5,В7)	KBOJ.83.SE0.avv_v3_v5_v7
Загазованість машзалу 0.5%	KBOJ.83.SZ0.zagaz05%_mashzal
Загазованість залу нагнітачів 0.5%	KBOJ.83.SZ0.zagaz05%_zalnagn
Загазованість машзалу 1.0%	KBOJ.83.SZ0.zagaz1%_mashzal
Загазованість залу нагнітачів 1.0%	KBOJ.83.SZ0.zagaz1%_zalnagn
Венткамера №. ПВ1	KBOJ.83.SZ0.pv1_ventkamer2
Венткамера №. ПВ2	KBOJ.83.SZ0.pv2_ventkamer4
Тамбур-шлюз на вході КЦ. ПВ№	KBOJ.83.SZ0.tambur_vhodKC_pv3
Тамбур-шлюз на виході КЦ. ПВ№	KBOJ.83.SZ0.tambur_vyhodKC_pv1
ПВ акумуляторної батареї	KBOJ.83.SE0.akk_batar
Ввід 3А (ГПА10; 11; 12)	KBOJ.83.SE0.vvod3A
Ввід 4А (ГПА7; 8; 9)	KBOJ.83.SE0.vvod4A
Ввід 1А (ГПА4; 5; 6)	KBOJ.83.SE0.vvod1A
Ввід 2А (ГПА1; 2; 3)	KBOJ.83.SE0.vvod2A
Секційний масляний вимикач СМВ №	KBOJ.83.SE0.sekc_masl_vymyk3
Земля на шинах вводу № А	KBOJ.83.SE0.zeml_shina4A
Рівень резервуара масла Е1	KBOJ.83.SO0.riven_rez_masl
Засувка аварійного зливу масла ГПА №	KBOJ.83.CA5.zasuv_av_zlyv_masl
Насос № стічних вод ввімкнений	KBOJ.83.SZ0.nasos3_stich_vod
Насос № приямку	KBOJ.83.SZ0.nasos53_priyamok
Загазованість каналізаційної насосної станції	KBOJ.83.SZ0.zagaz_KNS
Автоматичне керування	KBOJ.83.SA0.avt_keruv
Автоматичне керування насосами стічних вод	KBOJ.83.SA0.avt_keruv_nasos_stich_vod
Напруги в каналізаційній насосній станції	KBOJ.83.SZ0.naprugy_KNS
Робота насосів приямку	KBOJ.83.SZ0.robota_nasos_priyamok
Кран №	KBOJ.83.SV0.kran20
Аварія КЦ	KBOJ.83.SA0.av_KC
Стан поршня	KBOJ.83.SA0.porshen
Стан АПО газу	KBOJ.83.SP0.stan_APOG
Несправність установки очистки газу	KBOJ.83.SU0.nesprav_UOG
Обрив ланцюгів соленоїда	KBOJ.83.SE0.obryv_lanc_solen
Стан вводів	KBOJ.83.SE0.stan_vvod
Стан секційних вимикачів	KBOJ.83.SE0.stan_sekc_vymyk
Стан зарядного агрегату	KBOJ.83.SE0.stan_zaryad_agreg
Дуговий захист	KBOJ.83.SE0.dugov_zahyst
«Земля» 10кВ	KBOJ.83.SE0.zemlya_10kV
«Земля» =27В	KBOJ.83.SE0.zemlya_27V
«Земля» =220В	KBOJ.83.SE0.zemlya_220V
Стан закритого розподільного пристрою	KBOJ.83.SE0.stan_ZRP

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

В табл. 2.7 визначено параметри та їх ідентифікатори газоперекачувального агрегату.

Таблиця 2.7 – Визначення параметрів та їх ідентифікаторів ГПА

Опис	Ідентифікатор
Тиск газу на вході нагнітача, кгс/см^2	KBOJ.83.CN5.PG_vhid
Тиск газу на виході нагнітача, кгс/см^2	KBOJ.83.CN5.PG_vyhid
Перепад тиску на конфузорі, кгс/м^2	KBOJ.83.CD5.DG_konfuz
Температура газу на виході, °С	KBOJ.83.CN5.PG_vhid
Струм статора, А	KBOJ.83.CD5.I_stator
Активна потужнсть, кВт	KBOJ.83.CD5.W_aktyvna
Струм збудження електродвигуна, А	KBOJ.83.CD5.I_zbud
Напруга збудження, А	KBOJ.83.CD5.U_zbud
Перепад масло-газ, кгс/см^2	KBOJ.83.CN5.DX
Тиск масла за головним маслонасосом, кгс/см^2	KBOJ.83.CA5.PO_za_maslnas
Тиск масла за фільтром, кгс/см^2	KBOJ.83.CA5.PO_za_filtr
Тиск масла змащення, кгс/см^2	KBOJ.83.CA5.PO_zmashen
Тиск масла ущільнення, кгс/см^2	KBOJ.83.CA5.PO_uschiln
Рівень масла в маслобаку, мм.вод.ст.	KBOJ.83.CA5.LO_maslbak
Температура масла в маслобаку, °С	KBOJ.83.SP0.TO_maslbak
Температура масла за апаратом повітряного охолодження, °С	KBOJ.83.CN5.TO_za APO
Температура опорного підшипника електродвигуна (ОП ЕД) (т.1), °С	KBOJ.83.CD5.TC_OP1
Температура опорного підшипника електродвигуна (т.2), °С	KBOJ.83.CD5.T_OP2
Температура опорного підшипника кол. редукт. (т.3), °С	KBOJ.83.CD5.TC_OP3
Температура опорного підшипника шест. редукт. (т.4), °С	KBOJ.83.CD5.TC_OP4
Температура опорного підшипника шест. редукт. (т.5), °С	KBOJ.83.CD5.TC_OP5
Температура опорного підшипника шест. редукт. (т.6), °С	KBOJ.83.CD5.TC_OP6
Температура робочих колодок опорно-упорного підшипника нагнітача (т.7), °С	KBOJ.83.CN5.TC_rk_OUP7
Температура опорно-упорного підшипника нагнітача (т.8), °С	KBOJ.83.CN5.T_rk_OUP8
Температура упорних колодок опорно-упорного підшипника нагнітача (Т.9), °С	KBOJ.83.CN5.TC_uk_OUP9
Температура опорного підшипника -уплот.подш. нагнітача (т.10), °С	KBOJ.83.CN5.TC_rk_OUP10
Температура охолод. повітря на вході (т.11), °С	KBOJ.83.CD5.TV_ohol_vhid
Температура охолод. повітря на виході (т.12), °С	KBOJ.83.CD5.TV_ohol_vyhid
Температура обм. електродвигуна (фаза А, сталь), °С	KBOJ.83.CD5.TS_fA
Температура обм. електродвигуна (фаза А, мідь), °С	KBOJ.83.CD5.TM_fA
Температура обм. електродвигуна (фаза В, сталь), °С	KBOJ.83.CD5.TS_fB
Температура обм. електродвигуна (фаза А, мідь), °С	KBOJ.83.CD5.TM_fA
Температура обм. електродвигуна (фаза В, сталь), °С	KBOJ.83.CD5.TS_fB
Температура обм. електродвигуна (фаза В, мідь), °С	KBOJ.83.CD5.TM_fB
Температура обм. електродвигуна (фаза С, сталь), °С	KBOJ.83.CD5.TS_fC
Температура обм. електродвигуна (фаза С, мідь), °С	KBOJ.83.CD5.TM_fC
Температура повітря на вході електродвигуна т.7, °С	KBOJ.83.CD5.TV_vhid7
Температура повітря на вході електродвигуна т.8, °С	KBOJ.83.CD5.TV_vhid8
Температура повітря на виході електродвигуна т.9, °С	KBOJ.83.CD5.TV_vyhid9
Напруга живлення контролерів, В	KBOJ.83.CA5.UD_kontrol
Напруга живлення, В	KBOJ.83.CA5.UZ_220
Напруга вимірювання трансформатора 100, В	KBOJ.83.CA5.UZ_trans100

Продовження табл. 2.7

Опис	Ідентифікатор
Напруга фази А, В	KBOJ.83.CD5.UZ_fAB
Напруга фази В, С	KBOJ.83.CD5.UZ_fBC
Напруга фази С, А	KBOJ.83.CD5.UZ_fCA
Стан агрегату	KBOJ.83.CA5.stan
Нагрівання підшипників	KBOJ.83.CN5.nagriv_pidsh
Зниження тиску масла змащення	KBOJ.83.CN5.po_zmash_low
Відкриття крану 3´ при помпажу	KBOJ.83.CV5.pompazh_3bis
Зниження перепаду масло-газ	KBOJ.83.CN5.dx_znyzhen
Обрив ланцюгів управління	KBOJ.83.CA5.obryv_lanc_upr
Форсування збудження	KBOJ.83.CD5.force_zbud
Несправність ланцюгів збудження	KBOJ.83.CD5.nespr_lanc_zbud
Рівень масла	KBOJ.83.CN5.riven_masl
Відмова кранів	KBOJ.83.CV5.vidmova
Перегрів підшипників	KBOJ.83.CN5.peregriv_pidsh
Падіння перепаду масло-газ	KBOJ.83.CN5.dx_padin
Падіння тиску масла змащення	KBOJ.83.CN5.tysk_zmasch_padin
Помпаж	KBOJ.83.CN5.pompazh
Вісьовий зсув нагнітача	KBOJ.83.CN5.vis_zsuv
Відключення масляного вимикача	KBOJ.83.CA5.vidkl_masl_vykl
Втрата збудження	KBOJ.83.CD5.vtrata_zbud
Аварія збудника	KBOJ.83.CD5.av_zbud
Вентилятор № 1 АПО масла	KBOJ.83.CA5.vent1_APO_masl
Вентилятор № 2 АПО масла	KBOJ.83.CA5.vent2_APO_masl
Маслонасос № 1 ущільнення	KBOJ.83.CA5.masl1_uschiln
Маслонасос № 2 ущільнення	KBOJ.83.CA5.masl2_uschiln

Таким чином, узагальнення класифікації об’єктів ГТС і визначення вхідних і вихідних параметрів та їх ідентифікаторів об’ктів керування дозволять уніфікувати процедури збору, обробки, передчі і зберігання даних САК КС.

2.3 Методи формування тестових сигналів для імітації режимів роботи АСК

Для вирішення задач уніфікації апаратно-програмних засобів і процедур диспетчерського керування компресорними станціями пропонується SCADA-система WinCC (Windows Control Center) концерну «Siemens». Дана SCADA-система передбачає вертикальну інтеграцію всіх рівнів управління підприємством і уможливлює будувати, як прості так і складні розподілені

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

клієнт-серверні системи з резервованими серверами і віддаленими Web-клієнтами [72]. При цьому необхідно вирішувати задачі моделювання та імітації режимів роботи компонентів системи управління і як наслідок необхідність створення баз даних тестових сигналів.

Для тестування і відлагодження проектів САК на базі SCADA WinCC може використовуватись внутрішній симулятор тегів WinCC «Tag Simulator», але який має обмеження до 300 тегів. Тому для відлагодження складних систем управління з кількістю тегів більшою за 300, пропонується метод, який полягає в наступному:

- створенні довільних тестових сигналів у вигляді макросів (статичних і динамічних функцій з визначеними параметрами) на мові Visual Basic в табличному редакторі MS Excel;

- організації процедур обміну даними між SCADA WinCC і MS Excel через протокол Dynamic Data Exchange (DDE) - механізм взаємодії додатків в операційних системах Microsoft Windows і OS/2;

- відповідній конфігурації апаратно-програмних засобів для реалізації процесу моделювання.

Протокол DDE використовується для обміну даними між програмним забезпеченням різних виробників і підтримується OS Windows [73].

Програми, що використовують DDE, поділяються на дві категорії - клієнти та сервери. Обидва учасники процесу обміну даними здійснюють сеанси передавання даних. Встановлює сеанс клієнт, який надсилає запит, який містить ім’я сеансу і параметри. Після встановлення сенсу будь-яка зміна елемента даних на сервері передається клієнтам.

Початково програмування DDE було складною процедурою - воно вимагало взаємозалежної обробки більш ніж десяти повідомлень Windows. Починаючи з версії Windows V3.1 доступна бібліотека DDEML, яка перевела управління DDE на рівень виклику процедур.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

В процесі встановлення з’єднання один з учасників є його ініціатором (у термінології DDE - клієнтом), а другий знаходиться в постійній готовності до встановлення з’єднання (у термінології DDE - сервер). Один сервер і клієнт можуть бути запущені на одному або на різних комп’ютерах. З боку клієнтського додатку будь-яких попередніх дій у протоколі DDE робити не потрібно, а серверна частина додатку повинна спочатку зареєструватися в OS Windows в якості сервера протоколу DDE. Сервер DDE при реєстрації повідомляє Windows те ім’я, під яким він буде доступний на даному комп’ютері.

2.3.1 Реалізація процесу передачі даних з MS Excel у SCADA WinCC

Для відлагодження компонентів систем управління на базі SCADA WinCC пропонується вищеописаний метод, що забезпечує передачу розроблених в MS Excel тестових сигналів через протокол обміну даними DDE в SCADA WinCC [74].

Обмін даними по протоколу DDE складається з трьох етапів:

- встановлення з’єднання;
- процес обміну даними;
- розрив з’єднання.

Після встановлення з’єднання можна виконувати обмін даними. Обмін даними може відбуватися в одному з двох напрямків - читання даних клієнтом (операціїя read) і передача даних серверу (операція write). При отриманні запиту на «читання» сервер повинен сформувати блок даних і передати його клієнту, у разі отримання запиту на «запис» - провести обробку отриманого від клієнта блоку даних. Для обробки таких запитів в DDE-сервері повинна бути реалізована програма виходу «callback», адреса якої вказується для OS Windows при ініціалізації програми. Програма виходу викликається у Windows автоматично і асинхронно по відношенню до основного процесу, на відміну від запитів, які видаються клієнтом і обробляються синхронно.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

При виклику програми виходу, їй як параметри передаються два символьні рядки, один з яких у протоколі DDE носить назву «Topic», а другий – «Item». За цими іменами сервер повинен визначити, які саме дані необхідно передати клієнтам.

Розрив з’єднання - операція, по якій повинні завершуватися обмін даними по протоколу DDE. Зазвичай це робиться безпосередньо перед завершенням роботи програми.

Для реалізації процесу передачі даних з MS Excel в SCADA WinCC попередньо необхідно створити проект в Graphic Designer (рис. 2.18) з системою відповдних тегів і у діалоговому вікні Computer Propeties вказати шлях до програми DDeServ.exe (рис. 2.19).

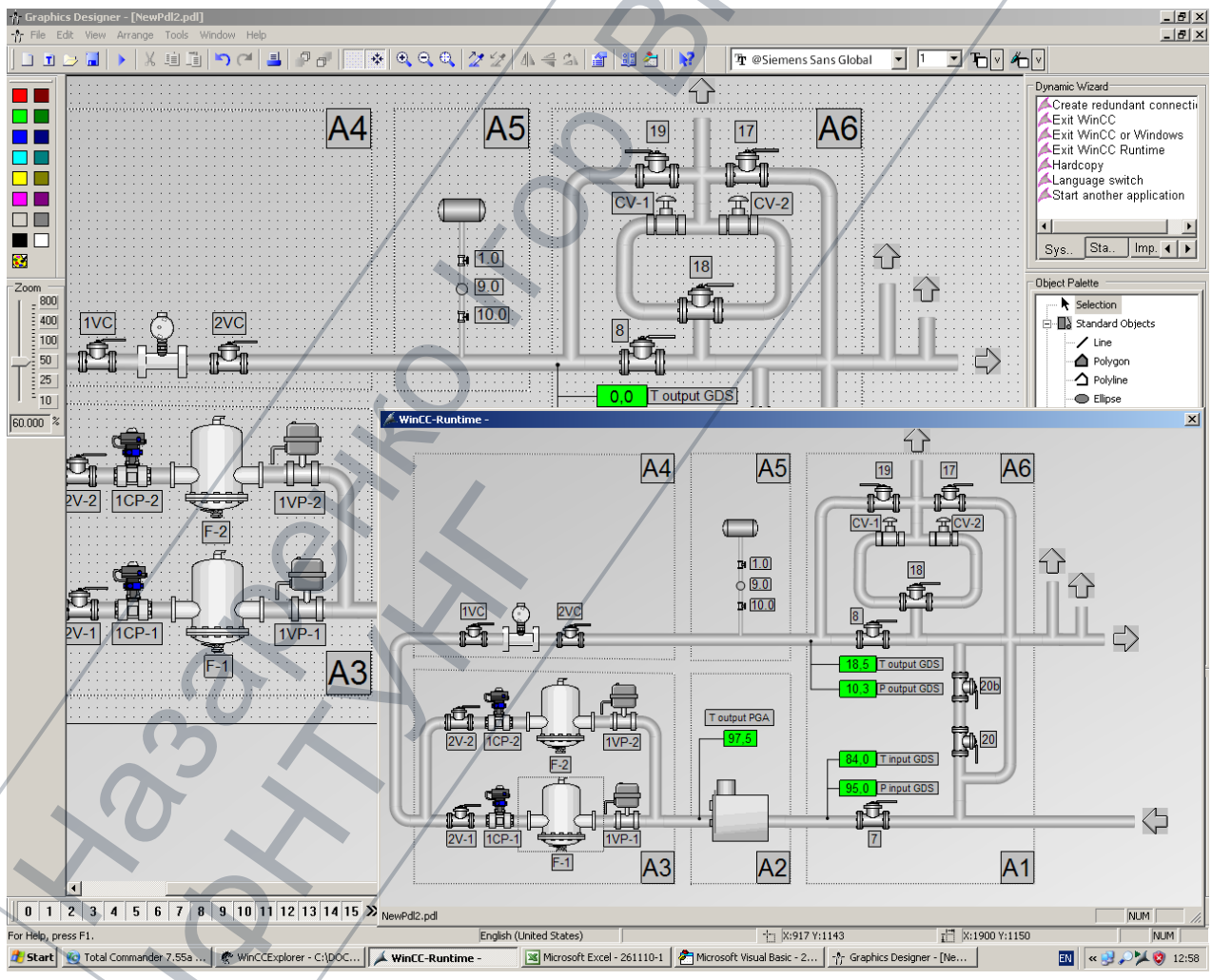


Рисунок 2.18 – Приклад мнемосхеми в WinCC Graphic Designer з запущеним режимом «Run Time»

Назаренко Ю.В. ІФНТУНГ

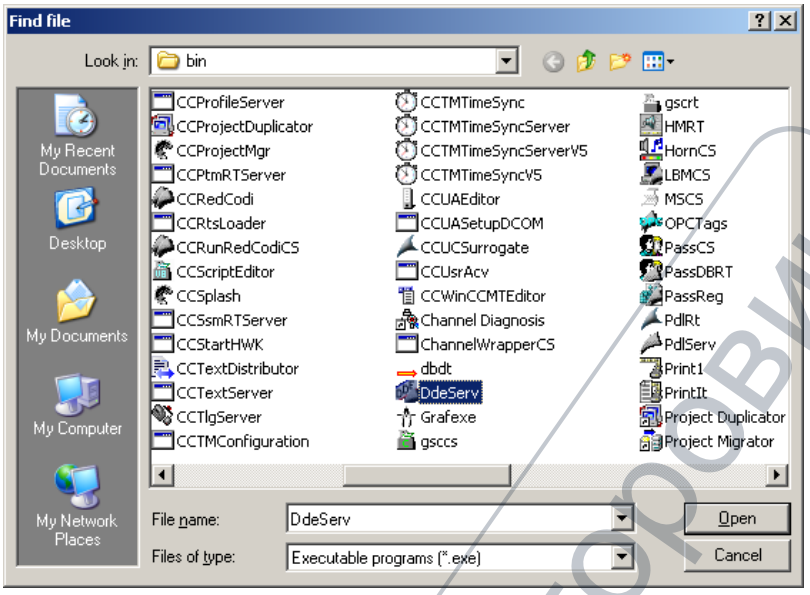


Рисунок 2.19 – Локалізація DDeServ.exe в SCADA WinCC

Для передачі даних з MS Excel у WinCC розроблено макрос на мові Visual Basic і представлено результат формування і передачі двох тестових сигналів (NewTag1 і NewTag2) (рис. 2.20).

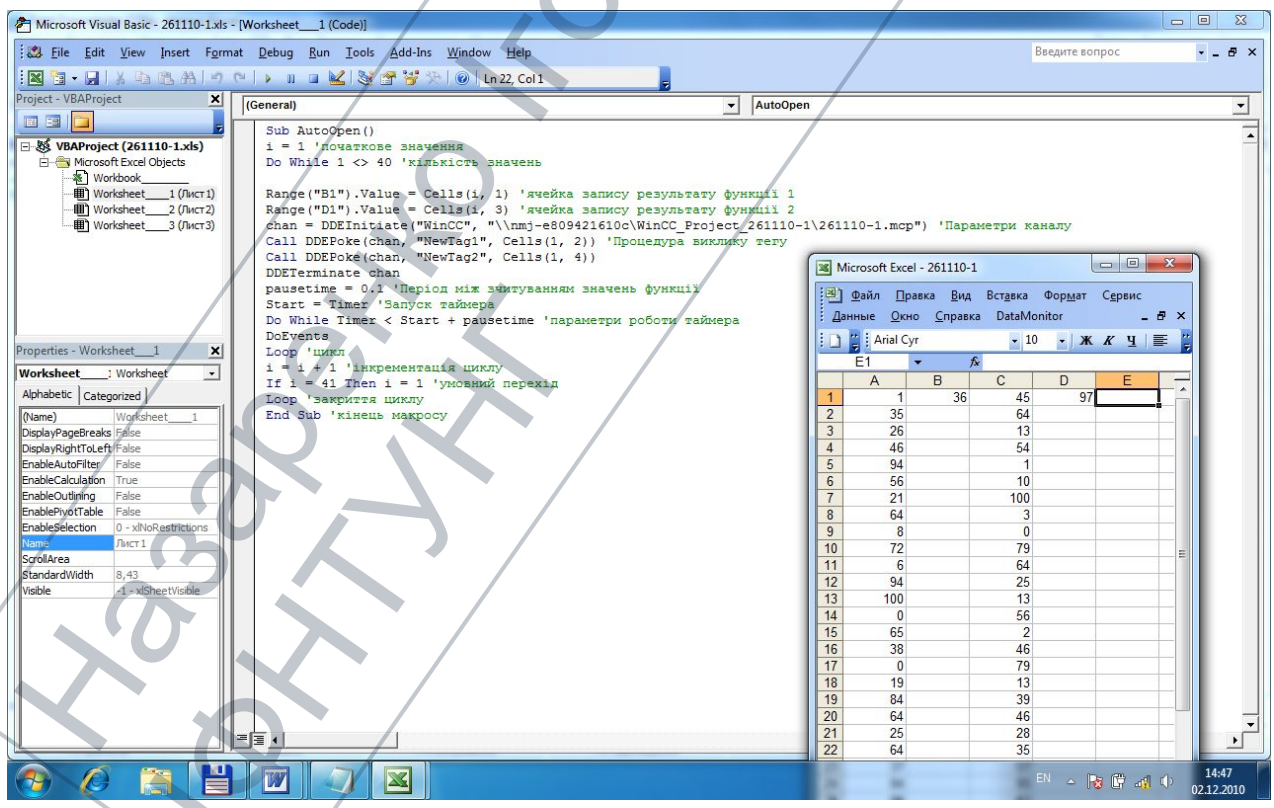


Рисунок 2.20 – Результат формування і передачі двох тестових сигналів (NewTag1 і NewTag2)

Назаренко Ігор Вікторович
ВНТУНТ

При необхідності тип, кількість і параметри тестових сигналів можуть бути змінені, що надає широкі можливості для уніфікації процесів моделювання складних систем управління (з кількістю статичних і динамічних тегів, що перевищує 300 – обмеження внутрішнього симулятора і складним видом тестових сигналів – обмежено кількома видами сигналів внутрішнього симулятора) на базі SCADA WinCC.

Таким чином, розроблений і апробований метод моделювання та імітації режимів роботи аппаратно-програмних засобів систем управління через DDE-server на основі розроблених в MS Excel тестових сигналів розширює функціональність внутрішніх засобів SCADA.

2.3.2 Формування тестових сигналів з MatLab Simulink

Враховуючи широке застосування сучасного інструментарію «MatLab Simulink» в інженерних розробках і розрахунках, а також потужних обчислювальних можливостей, перспективною є розробка баз даних тестових сигналів для моделювання та імітації режимів роботи САК на основі Simulink-формувачів сигналів. Але даний підхід вимагає розробки методичного забезпечення та його апробації при інтеграції таких баз в САК на основі PLC і SCADA-систем.

Основою для створення формувачів тестових сигналів в Simulink є об’єкт Subsystem («підсистема» – фрагмент Simulink-моделі, оформлений у вигляді окремого блоку). Використання підсистем при складанні моделі має наступні позитивні особливості:

- зменшує кількість блоків, які одночасно відображаються на екрані, що полегшує сприйняття моделі;
- дозволяє створювати і налагоджувати фрагменти моделі окремо, що підвищує технологічність створення моделі;
- дозволяє створювати власні бібліотеки розробника;
- надає можливість синхронізації паралельно працюючих «підсистем»;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- надає можливість пов'язувати «підсистему» з довільним m-файлом, забезпечуючи запуск цього файлу при відкритті «підсистеми» (нестандартне відкриття підсистеми).

Використання «підсистем» та механізму їх блоків дозволяє створювати блоки, які не поступаються стандартним за своїм оформленням (вікно параметрів блоку, піктограма, довідка, тощо).

Кількість «підсистем» в моделі не обмежена, крім того «підсистеми» можуть включати в себе інші «підсистеми». Рівень вкладеності «підсистем» один в одного також не обмежений.

В результаті проведених експериментів було запропоновано Пропонується на основі програмного модуля «Simulink PLC Coder», автоматично генерувати код для САК, включаючи замкнуті системи і системи контролю зі зворотним зв'язком. Автоматична генерація коду, невід'ємна частина модельно-орієнтованого проектування, допомагає усунути помилки, пов'язані з традиційним ручним написанням коду і зменшує час розробки та валідації.

«Simulink PLC Coder» генерує вихідний код в структурованому текстовому форматі з моделей «Simulink», діаграм «Stateflow», і коду «Embedded MatLab», а далі використовує інтегроване середовище розробки (IDE) від постачальника засобів промислової автоматизації, для компіляції коду та запуску його на PLC.

Нижче наведена розроблена уніфікована процедура автоматичної генерації коду для PLC САК, що включає:

- створення файлу моделі шляхом запуску бібліотеки «plclib», в якому створено імітаційну модель (рис. 2.21);

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

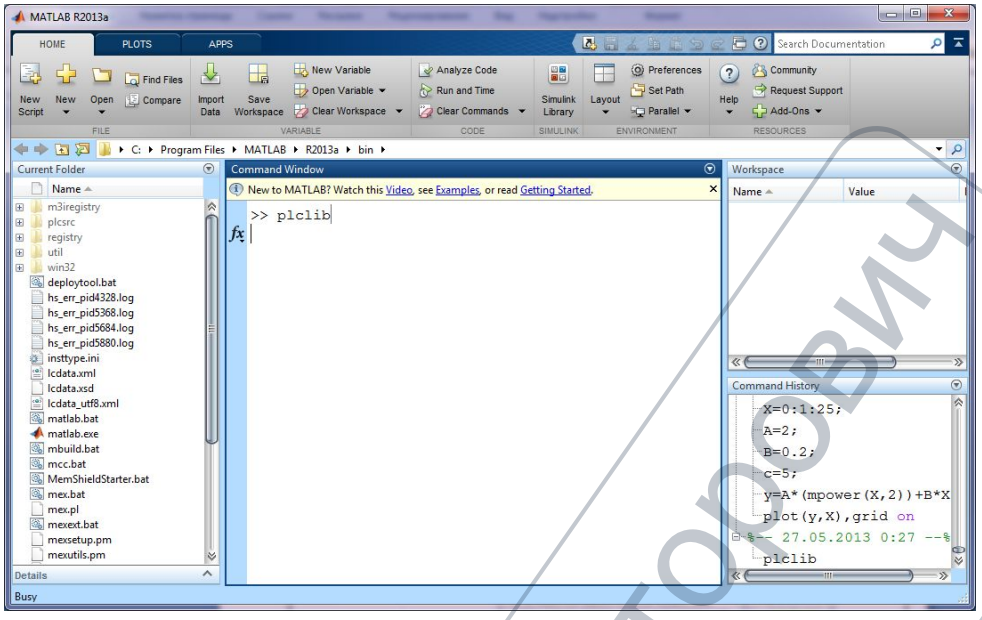


Рисунок 2.21 – Запуск бібліотеки «plclib»

- створення математичної функції (наприклад квадратного рівняння) (рис. 2.22) на основі блоку «Polynomial Evaluation»;

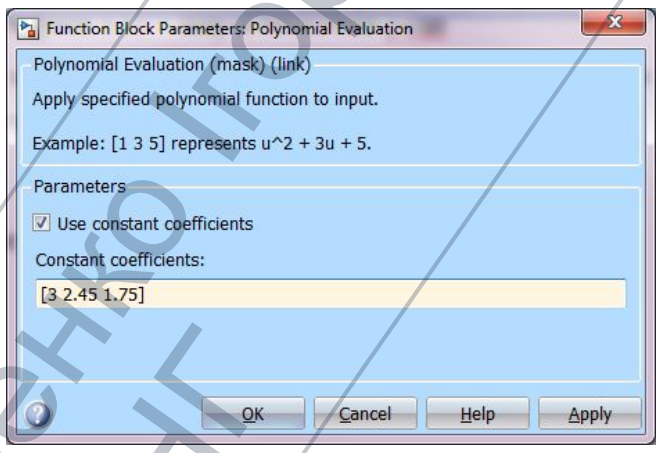


Рисунок 2.22 – Блок «Polynomial Evaluation»

- в результаті створено структуру функції «Polinomial Evaluation», наведену на рис. 2.23;

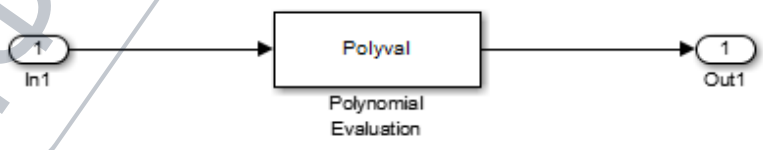


Рисунок 2.23 – Структура функції «Polinomial Evaluation»

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

- далі активується процедура «Create Subsystem» (рис. 2.24).

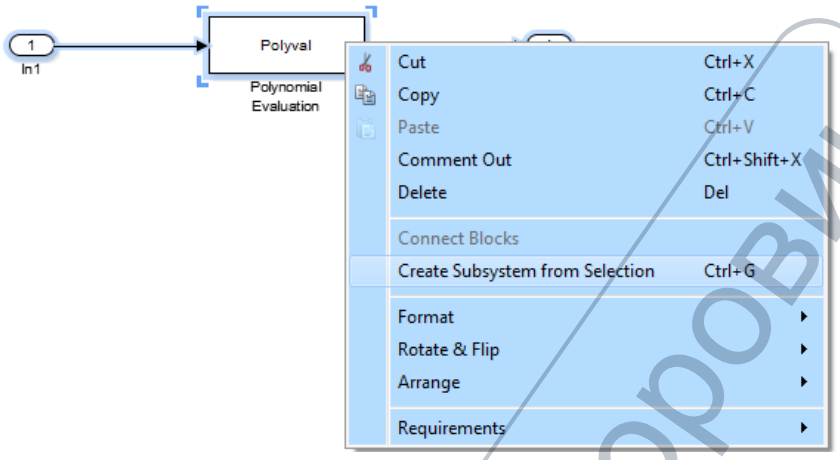


Рисунок 2.24 – Створення «підсистеми» «Subsystem»

- в результаті генерується функціональний блок (рис. 2.25);

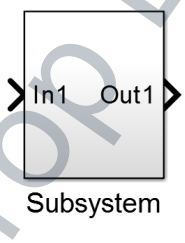


Рисунок 2.25 – Результат генерування функціонального блоку «Subsystem»

- виконується параметрування блоку «Subsystem Parametrs» через «PLC Coder/Options» (рис. 2.26);

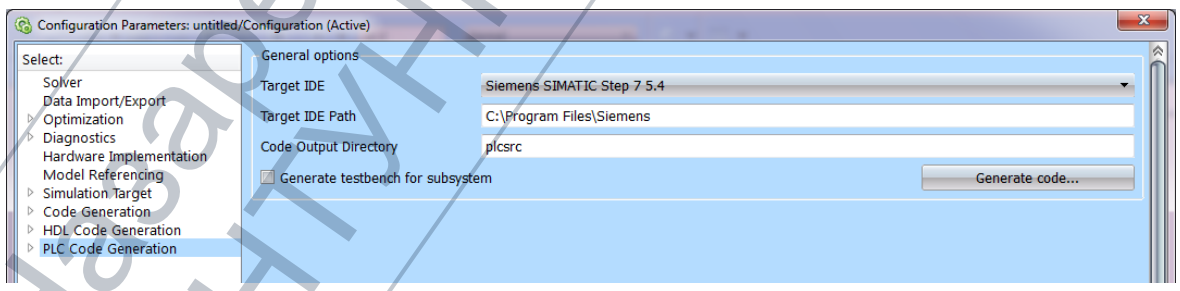


Рисунок 2.26 – Діалогове вікно параметрування PLC Coder

- в результаті виконання процедури автоматичного генерування програмного коду з Simulink-моделі, одержано код (рис. 2.27).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

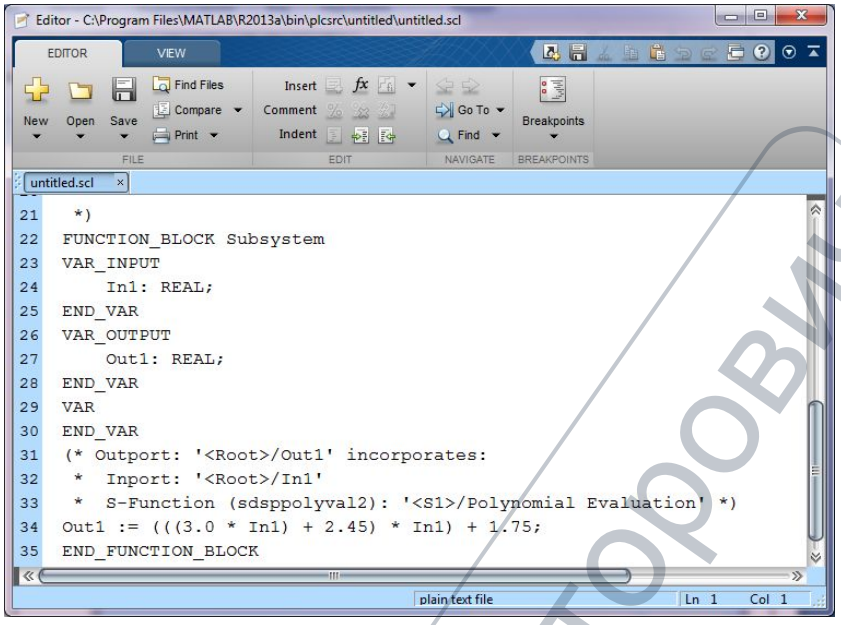


Рисунок 2.27 – Результат автоматичного генерування програмного коду з Simulink-моделі

Крім автоматичного генерування програмного коду з Simulink-моделі для створення бази даних тестових сигналів необхідно створити блоки даних (DB - Data Block) в базовому програмному забезпеченні Simatic STEP 7.

2.3.3 Створення блоків даних (DB) тестових сигналів

Даний процес передбачає створення проекту в Simatic STEP 7 (рис. 2.28).

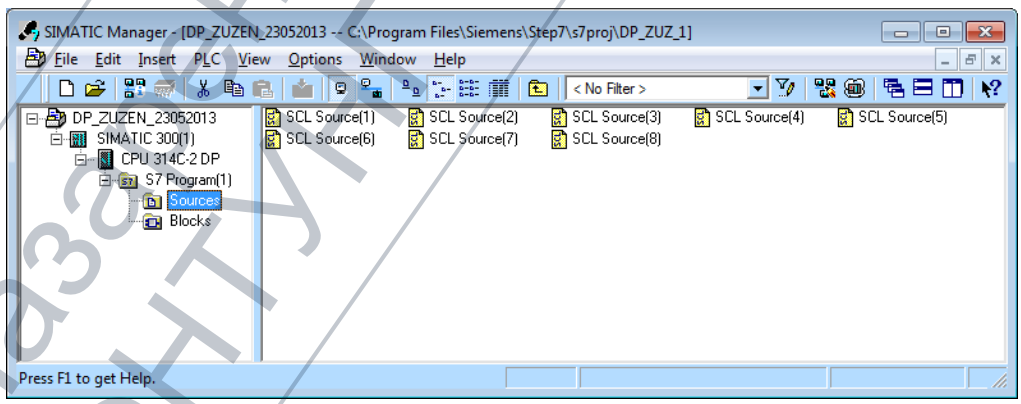


Рисунок 2.28 – проекту в Simatic STEP 7

Для інтеграції автоматично згенерованого програмного коду Simulink-моделі в Simatic STEP 7 застосовано структуровану мову управління SCL

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

(Structured Control Language) - мову програмування високого рівня для Simatic S7. Мова базується на стандарті IEC 61131-3 (частина «Structured Text» - структуровані тексти) і має сертифікат сумісності з PLC. Мова SCL оптимізована для програмування PLC. SCL містить в собі елементи мови «Pascal» поряд з типовими для PLC елементами, такими, наприклад, як «вхід» («input») і «вихід» («output»).

Далі в редактор SCL переноситься згенерований програмний код з Simulink-моделі і призначається ім’я FB1 (рис. 2.29).

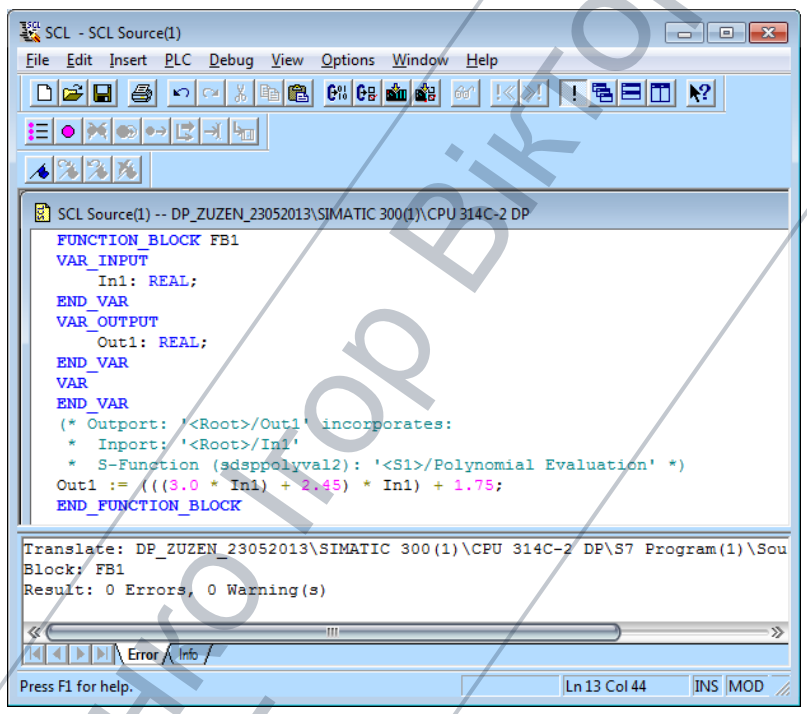


Рисунок 2.29 – Редактор SCL переносить згенерований програмний код з Simulink-моделі

SCL особливо підходить для програмування складних алгоритмів або для завдань, що відносяться до галузі управління даними. Мова SCL підтримує характерну для STEP 7 блокову структуру, а також дозволяє створювати S7-програми, що включають в себе фрагменти на основі мови програмування STL, LAD і FBD стандарту IEC 61131-3.

На рис. 2.30 показано вікно параметрування блоку даних DB1, при його включенні в проект для сумісної роботи з функціональним блоком FB1.

Назаренко Ігор Вікторович ФПТУНГ

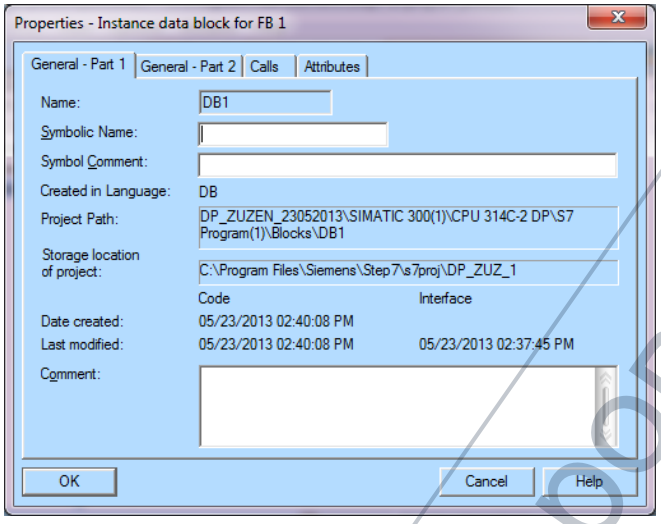


Рисунок 2.30 – Вікно параметрування блоку даних DB1 для сумісної роботи з функціональним блоком FB1

Кінцевою процедурою інтеграції автоматично згенерованого програмного коду з Simulink-моделі є включення функціонального блоку FB1 разом з блоком даних DB1 в організаційний блок OB1 (циклічно виконує управляючу програму) PLC в складі САК (рис. 2.31).

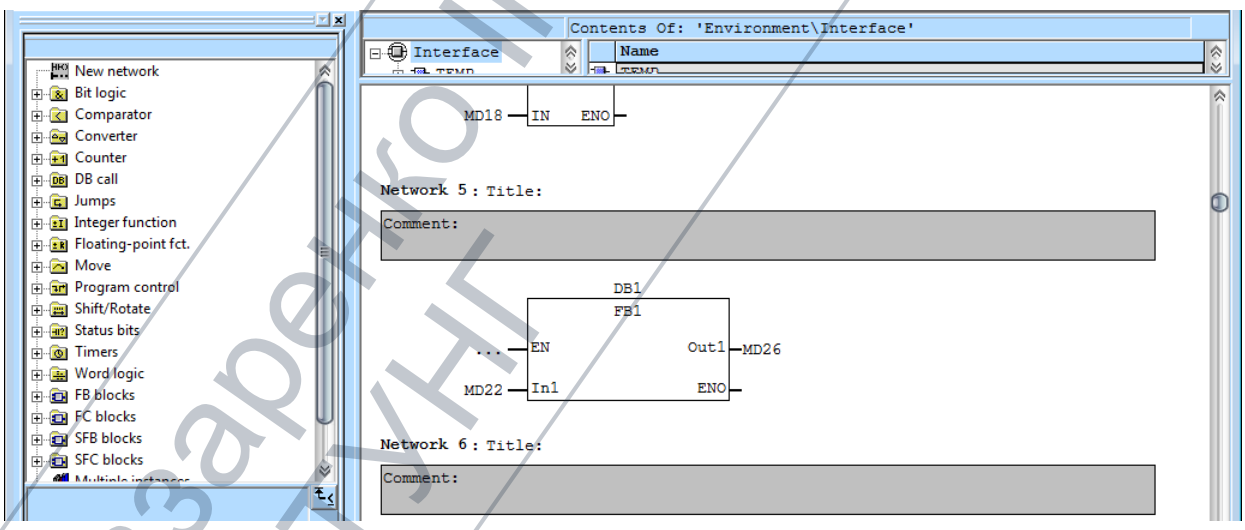


Рисунок 2.31 – Організаційний блок OB1 з інтегрованими блоками FB1 і DB1

Таким чином, розроблено і апробовано методи формування та інтеграції в САК баз даних тестових сигналів для забезпечення можливості моделювання та імітації режимів роботи компонентів САК.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

2.4 Удосконалений метод автоматичного генерування програмного коду PLC з імітаційних моделей САК

Задачі оптимізації алгоритмів функціонування складних об’єктів тісно пов’язані із задачами уніфікації, моделювання і імітації, а також передбачають створення ефективного інструментарію для їх реалізації.

Розглянемо процедуру організації і створення інструментарію (апаратно-програмних комплексів) для дослідження, уніфікації та оптимізації алгоритмів керування в САК КС [75].

Була розроблена наступна функціональна схема (рис. 2.32) організації апаратно-програмних комплексів для дослідження, оптимізації і уніфікації алгоритмів керування в САК КС.

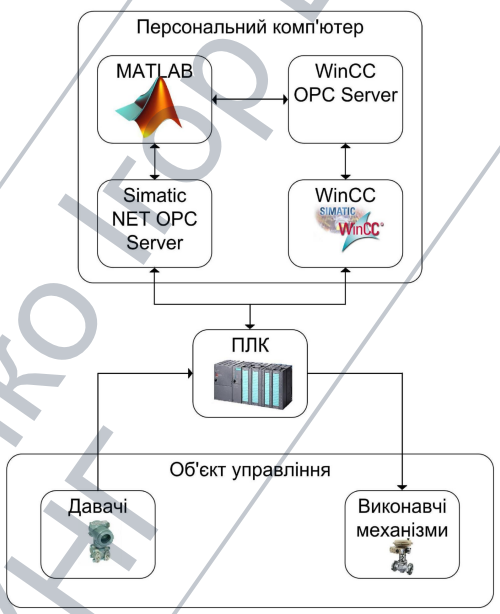


Рисунок 2.32 – Функціональна схема організації апаратно-програмного комплексу для дослідження, оптимізації і уніфікації алгоритмів керування в системах САК КС

Дана схема включає на нижньому рівні давачі і виконавчі механізми, що контролюються PLC, а на верхньому рівні робочу станцію з операційною

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

системою і програмними пакетами (MATLAB, WinCC, WinCC OPC Serwer, Simatic NET OPC Server).

Особливістю запропонованих в роботі рішень (див. розд 1), є розширення функціональних можливостей комп'ютерних моделюючих систем, шляхом перетворення математичних та імітаційних моделей у функціональні блоки (стандарт IEC 61131 – міжнародний стандарт для програм PLC, визначений Міжнародною Електротехнічною Комісією IEC) [76], що оптимізовані для роботи безпосередньо з апаратними засобами на базі PLC різних фірм виробників (Siemens, ABB, Mitsubishi, та інш.). Перевагами запропонованого підходу, є можливість імітації функціонування алгоритмів управління в лабораторних умовах, що в результаті підвищує якість і оперативність їх розробки, налагодження та оптимізації, і, відповідно, вирішує задачі уніфікації апаратно-програмних засобів і процедур керування.

На рис. 2.33 наведено типовий алгоритм роботи КЦ без врахування впливу роботи пилоуловлювачів і антипомпажного клапану.

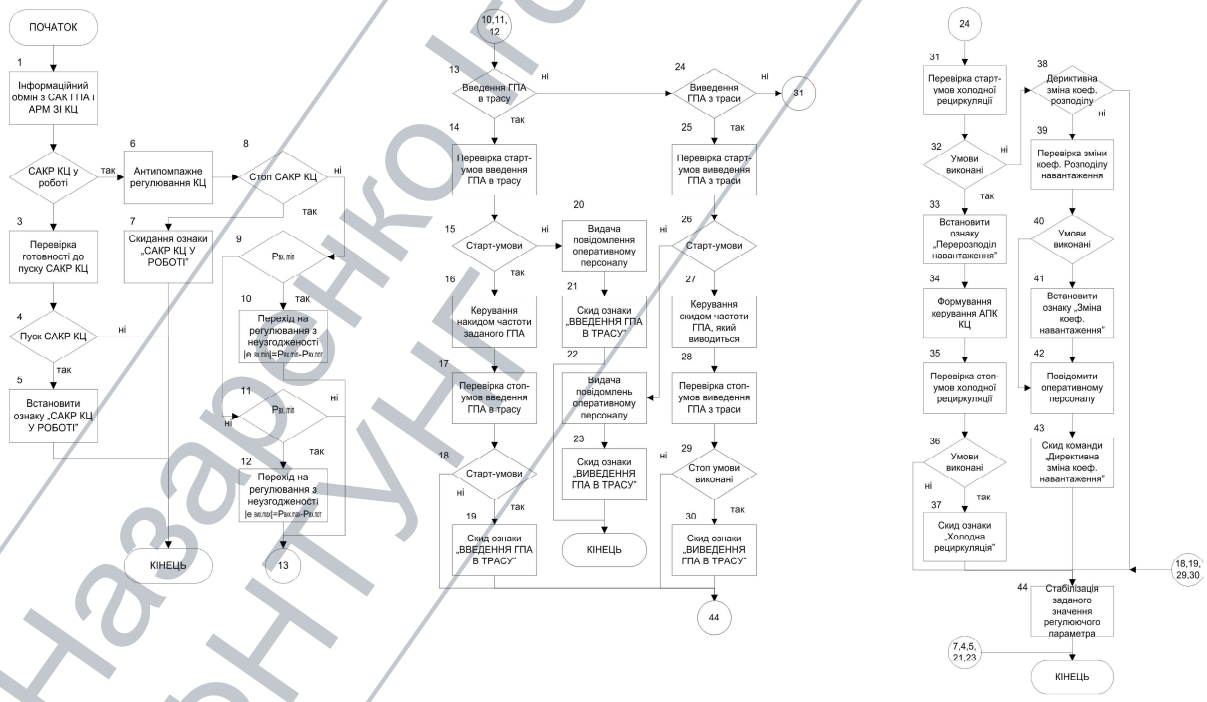


Рисунок 2.33 - Алгоритм роботи компресорного цеху

Для реалізації запропонованих рішень з оптимізації і уніфікації алгоритмів управління в САК КС, застосовано програмний пакет «MatLab», в

якому реалізовано імітаційну модель алгоритму роботи КЦ, і з якої створено програмний функціональний блок для PLC Simatic S7 концерну «Siemens» [77].

З моделями «Simulink» взаємодіє близько десятка інших модулів пакета «MatLab», призначених для їх розширення та деталізації [77]. Одним із таких модулів є «Stateflow», що представляє інтерактивне середовище, кероване подіями (фактично, «Stateflow» дозволяє створювати моделі).

Іншим важливим інструментом, є інтерфейси для взаємодії із зовнішніми додатками і операційною системою. Таким чином, інтерфейси «MatLab» дозволяють звертатися до DLL-компонентів зовнішньому коду на мовах «C» та «Fortran», класів «Java», COM-об'єктів, а також здійснювати обмін за протоколами DDE і OPC [77].

Процес перетворення моделей «Simulink», діаграм «Stateflow», і коду «Embedded MatLab», в функціональні блоки, передбачає автоматичне генерування структурованого коду, а потім використовує інтегроване середовище розробки (IDE - Integrated Design Environment) від постачальника засобів промислової автоматизації, для компіляції коду та запуску його на PLC [78].

Підтримуються наступні інтегровані середовища розробки (табл. 2.8). Підтримка включає експорт структурованого коду у форматі IDE.

Таблиця 2.8 – Підтримувані інтегровані середовища розробки IDE

Інтегроване середовище розробки	**Версія**
3S-Smart Software Solutions CoDeSys	2.3, 3.3
B&R Automation Studio™	3.0
Beckhoff TwinCAT	2.11
KW-Software MULTIPROG	5.0
Phoenix Contact PC WORX	6.0
Rockwell Automation RSlogix 5000	17, 18
Siemens Simatic STEP 7 IDE	5.4
PLCopen XML	2.01

На основі алгоритму керування (див. рис. 2.33), розроблено математичну модель, яка складається із двох функціональних блоків: САК КЦ і блоку ГПА.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Ієрархічний функціональний блок САК КЦ складається із двох допоміжних блоків нижчого рівня (рис. 2.34).

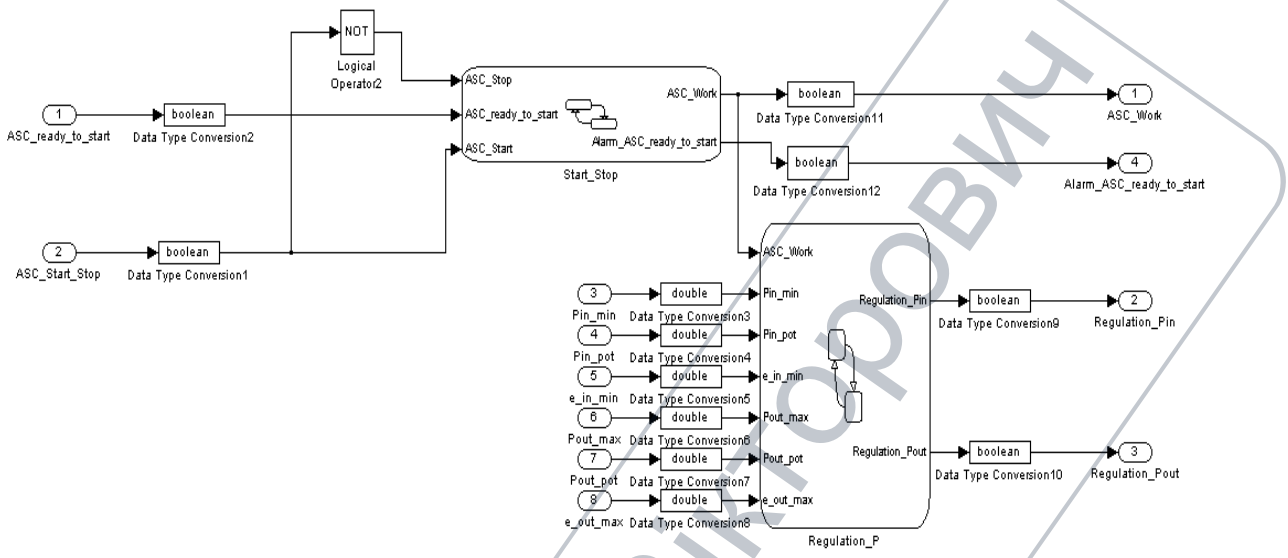


Рисунок 2.34. – Внутрішня структура функціонального блоку САК КЦ

На рис. 2.35 і 2.36 наведено внутрішні структури блоків «Start_Stop» і «Regulation_P».

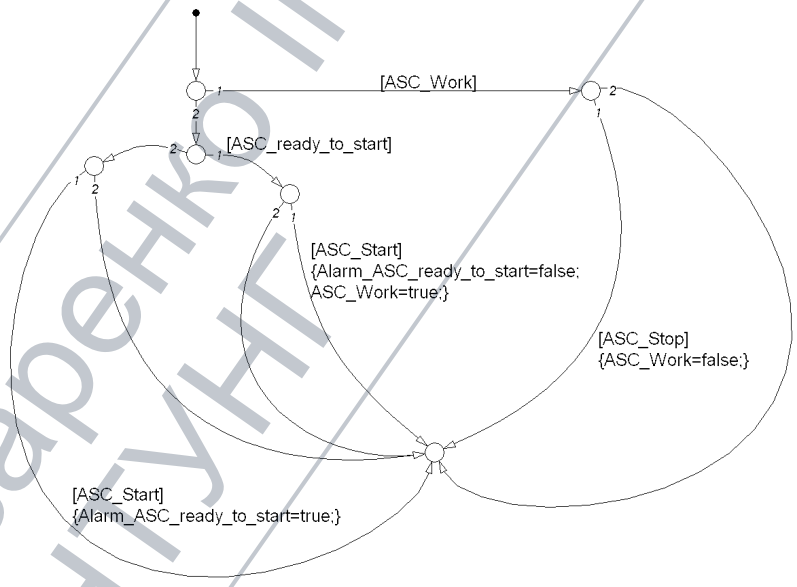


Рисунок 2.35 – Внутрішня структура функціонального блоку «Start_Stop»

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

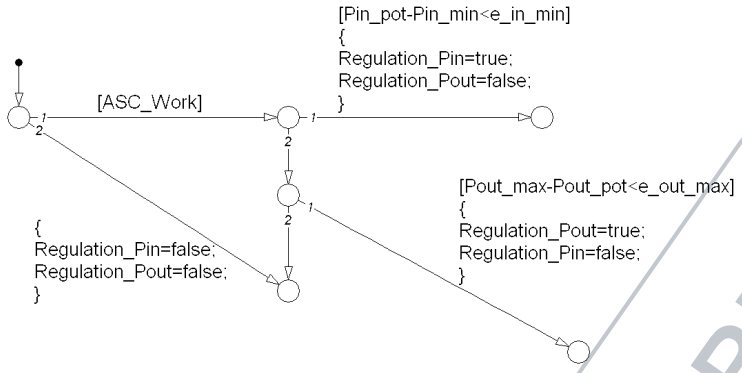


Рисунок 2.36 – Структура функціонального блоку «Regulation_P»

В результаті використання моделі створюються високоінтегровані функціональні блоки (рис. 2.37), з яких, в процесі подальшої обробки, генеруються функціональні блоки в стандарті IEC 61131 для використання з апаратними програмованими логічними контролерами, які запропоновано використовувати для імітації функціонування алгоритмів управління в умовах, максимально наближених до реальних інформаційних процесів в системах управління складними технічними об’єктами.

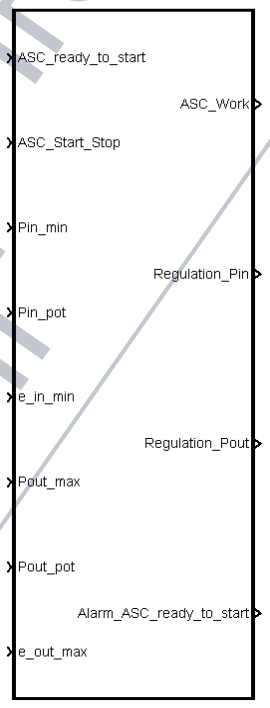


Рисунок 2.37 – Функціональний блок САК КЦ

Даний блок включає вісім входів і 4 виходи.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Входи:

- «ASC_ready_to_start» – дозвіл на запуск САК КЦ;

- «ASC_Start_Stop» – команда «Старт/Стоп» САК КЦ;

- «Pin_min» – мінімальний вхідний тиск;

- «Pin_pot» – поточний вхідний тиск;

- «e_in_min» – граничне значення неузгодженості за мінімальним тиском на вході;

- «Pout_max» – максимальний тиск на виході;

- «Pout_pot» – поточний вихідний тиск;

- «e_out_max» – граничне значення неузгодженості за максимальним тиском на виході.

Виходи:

- «ASC_Work» – САК КЦ працює;

- «Regulation_Pin» – регулювання за вхідним тиском;

- «Regulation_Pout» – регулювання за вихідним тиском;

- «Alarm_ ASC_ready_to_start» – відсутній дозвіл на запуск САК КЦ.

На рис. 2.38 наведено математичну модель алгоритму керування компресорним цехом, виконану в програмному середовищі MATLAB Simulink [79], яка включає:

- SAKR KC – функціональний блок САК КЦ;

- GPA1, GPA2 – функціональні блоки ГПА1 і ГПА2;

- SB1…SB16 – перемикачі логічних станів;

- I1, I2 – вхідні аналогові сигнали функціонального блоку САК КЦ;

- I4…I6 – входи установки за мінімумом і макксимумом функціонального блоку САК КЦ;

- I7…I12 – вхідні аналогові сигнали функціонального блоку ГПА1;

- I13…I18 - вхідні аналогові сигнали функціонального блоку ГПА2;

- Q1…Q24 – вихідні сигнали функціональних блоків.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

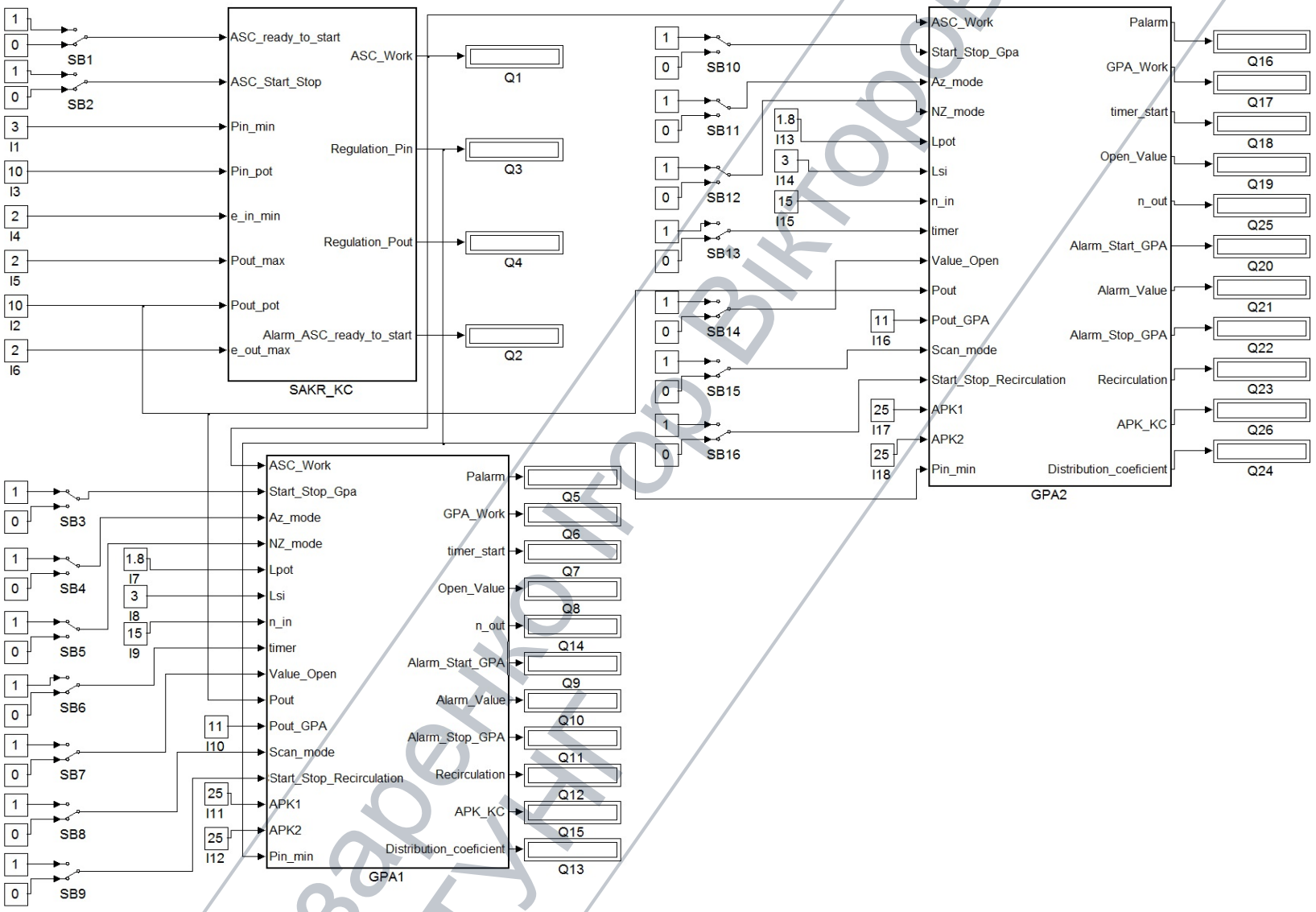


Рисунок 2.38 – Імітаційна модель алгоритму управління компресорним цехом

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Для виконання процедури автоматичної генерації функціонального блоку в стандарті IEC 61131, необхідно вибрати даний блок і визначити його параметри «Subsystem Parametrs». В діалоговому вікні визначається «Treat as atomic unit». Далі вибирається опція «PLC Coder/Options».

Крім того, є можливість визначення типу ПЛК за виробником, для якого буде згенеровано код (Target IDE). На рис. 2.39 зображено результат процесу генерування коду для управляючого блоку САК КЦ.

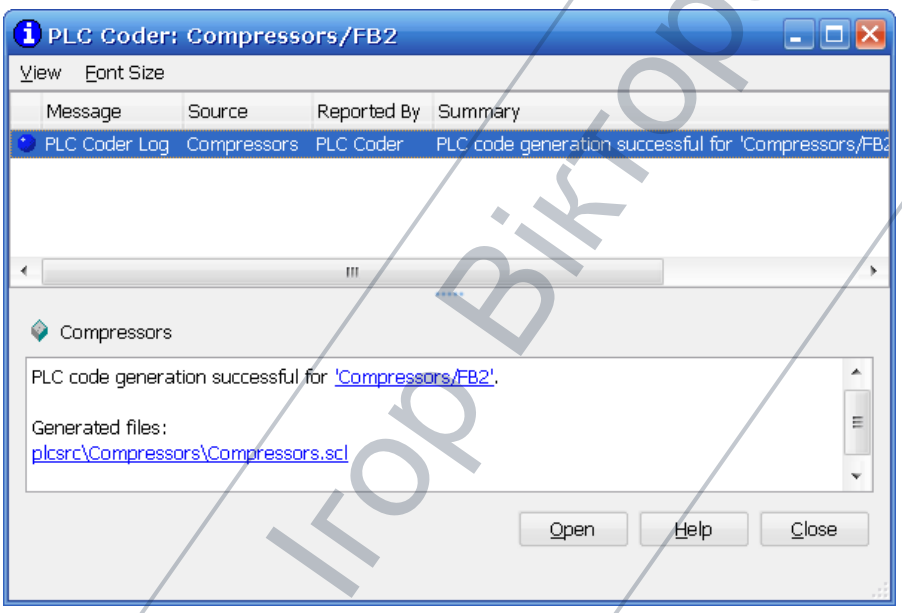


Рисунок 2.39 – Результат генерування коду для управляючого блоку САК КЦ

На рис. 2.40 показано процедуру автоматичної генерації функціонального блоку для PLC Simatic S7 шляхом претворення управляючого функціонального блоку імітаційної моделі з середовища «MatLab Simulink» в програмний код на мові SCL [80].

В результаті компіляції даного коду, створюється функціональний блок FB2, який може бути безпосередньо записаний в апаратний PLC.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

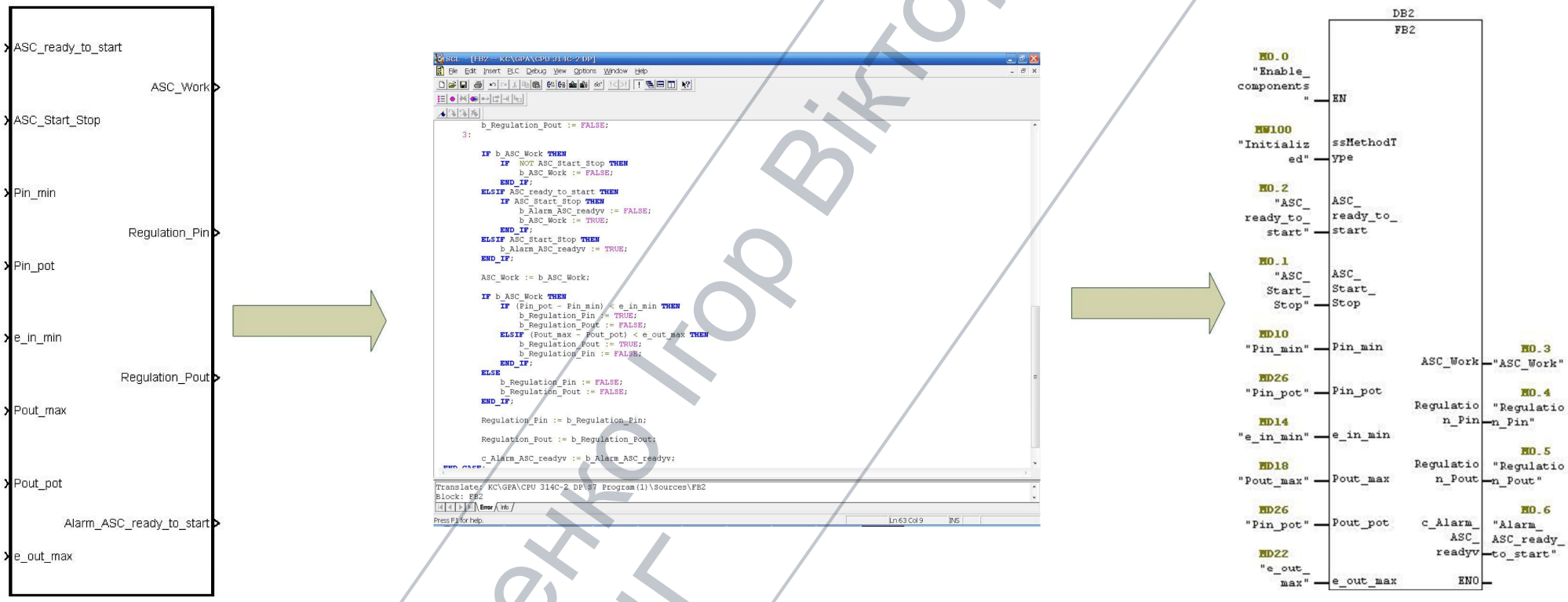


Рисунок 2.40 – Автоматична генерація функціонального блоку для PLC

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

Розглянуті вище процедури можуть бути застосовані і для інших математичних моделей об’єктів управління, що підвищує оперативність створення і налагодження управляючих функціональних блоків для апаратних PLC.

Таким чином, в результаті проведених дослідних і проектних робіт, запропоновано способи та одержано позитивні результати з організації і створення інструментарію для дослідження, оптимізації і уніфікації алгоритмів управління в системах диспетчерського керування компресорними станціями, які можуть бути ефективно застосовані і для інших об’єктів галузі.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Висновки до розділу 2

1. В результаті аналізу поточного стану САК ГПА і САК КС в УМГ «Київтрансгаз» виявлено, що 67% і 59% систем перевищено паспортний ресурс експлуатації, ще 17% і 18% вичерпають свій ресурс протягом 1-3 років відповідно, а тому потребують модернізації чи заміни у відповідності із сучасними вимогами, обґрунтованими у концепціях і програмах розвитку ПАТ «Укртрансгаз».

Запропоновано і розроблено топологічні і функціональні рішення САК на основі резервованої топології з розподіленим вводом-виводом і уніфікованих апаратно-програмних засобів, що дозволяє у повній мірі застосовувати сучасні інформаційні технології для побудови САК з широким набором топологічних рішень, можливістю діагностики та імітації режимів роботи САК на усіх етапах розробки чи експлуатації.

На основі апробації проектних процедур, вказано шляхи щодо організації нових уніфікованих САК КС на об’єктах газотранспортної системи України.

2. На основі методів ієрархічної і фасетної класифікацій, удосконалено класифікацію основних технологічних об’єктів і параметрів в УМГ «Київтрансгаз», визначено вхідні і вихідні параметри та їх ідентифікатори, що дозволяє уніфікувати процедури збору, обробки, передчі і зберігання даних САК КС.

3. Розроблено та апробовано методи формування тестових сигналів на основі попередньо створених таблиць MS Excel і з Simulink-моделей для імітації режимів роботи САК, що розширює функціональність внутрішніх засобів моделювання SCADA-систем і підвищує готовність систем на етапі проектування.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

4. Удосконалено метод автоматичного генерування програмного коду PLC з імітаційних моделей, включаючи замкнуті системи зі зворотним зв’язком, що усуває помилки, пов’язані з традиційним ручним складанням програмного коду і зменшує час розробки та валідації.

В результаті, автоматично генеруються функціональні програмні блоки в стандарті IEC 61131 для використання з апаратними PLC.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ГПА КС НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОГО ПІДХОДУ І УНІФІКАЦІЇ ПРОЦЕДУР

3.1 Побудова моделі нагнітача ГПА КЦ та імітація режимів роботи компонентів АСК КС

В розд. 1.4 при аналізі моделей складних об'єктів з точки зору використання їх для моделювання роботи ГПА в складі КС [81-85], було відмічено доцільність використання МГУА [86] та обгрунтовано його переваги в порівнянні з розглянутими.

Виходячи з цього, розглянемо алгоритм застосування методу групового урахування аргументів для побудови математичної моделі нагнітача ГПА (рис. 3.1). Алгоритм включає наступну послідовність операцій:

- створення вектора Y_n, в який заносяться n перших значень одного з вихідних технологічних параметрів (рис. 3.1, блок 1);

- створення матриці $M^{<1>}$ розмірності $n \times m$, в стовбцях якої розміщуються перші n значень m вхідних технологічних параметрів (рис. 3.1, блок 3);

- послідовний вибір з матриці $M^{<1>}$ всіх можливих комбінацій номерів стовбців – змінні x_i, x_j (рис. 3.1, блок 4);

- знаходження значень коефіцієнтів полінома $\{a_0^{\{1\}}, a_1^{\{1\}}, a_2^{\{1\}}, a_3^{\{1\}}, a_4^{\{1\}}, a_5^{\{1\}}\}$:

$$y^{\{1\}} = a_0^{\{1\}} + a_1^{\{1\}} x_i + a_2^{\{1\}} x_j + a_3^{\{1\}} x_i x_j + a_4^{\{1\}} x_i^2 + a_5^{\{1\}} x_j^2, \qquad (3.1)$$

де $i, j = \overline{1, m}, \ i \neq j$ для кожної з можливих комбінацій номерів стовбців матриці $M^{<1>}$ і вектора Y_n за допомогою методу найменших квадратів (МНК) (рис. 3.1, блок 5);

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

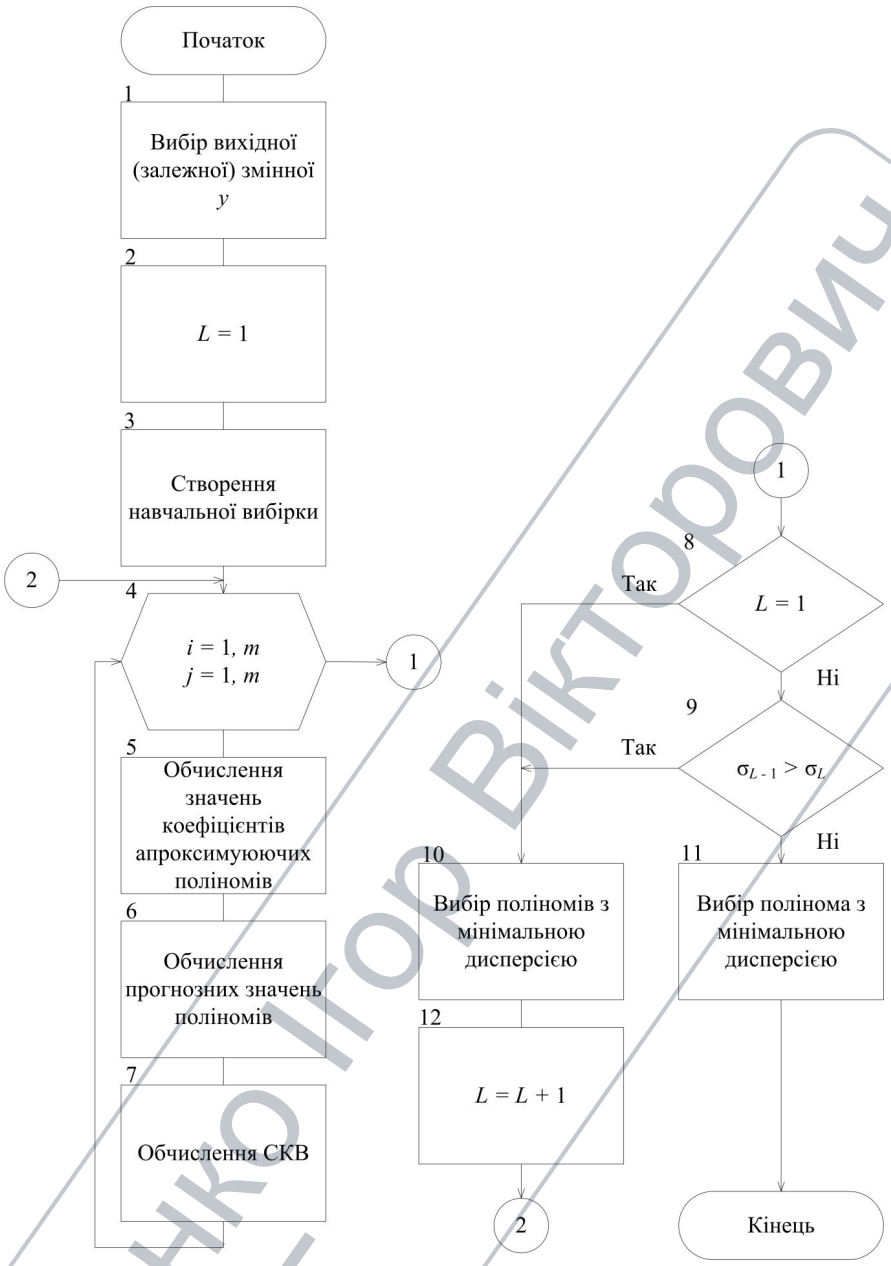


Рисунок 3.1 - Блок-схема алгоритму за МГУА

- обчислення, використовуючи знайдені набори коефіцієнтів апроксимуючих поліномів $\{a_0^{\{1\}}, a_1^{\{1\}}, a_2^{\{1\}}, a_3^{\{1\}}, a_4^{\{1\}}, a_5^{\{1\}}\}$ та їх значень в кожній з точок m=1,2,...N:

$$[y_m^{\{1\}}] = [a_0^{\{1\}}]_{ij} + [a_1^{\{1\}}]_{ij}[x_m]_i + [a_2^{\{1\}}]_{ij}[x_m]_j + \\ + [a_3^{\{1\}}]_{ij} x_i x_j + [a_4^{\{1\}}]_{ij}[x_{ij}^2]_i + a_5^{\{1\}}[x_m^2]_j, \quad (3.2)$$

де $i, j = \overline{1,m}, \ i \neq j$ (див. рис. 3.1, блок 6);

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- обчислення середньоквадратичних відхилень (СКВ) залишків-різниць між вектором Y_m, m=1,2,...N і відповідним значенням інтерполюючого полінома:

$$\sigma_y = \left[\frac{1}{N} \sum_{m=1}^{N} (Y_m - [y_m^{\{1\}}]_{ij})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (3.3)$$

де $i, j = \overline{1,m},\ i \neq j$ (див. рис. 3.1, блок 7);

- відбір поліномів з мінімальною дисперсією, які будуть використані для побудови апроксимуючих поліномів другого і вище рівнів (кожен рівень відповідає номеру ітерації) (див. рис. 3.1, блок 10) та перехід на наступний крок (див. рис. 3.1, блок 12);

- порівняння СКВ на попередньому та поточному кроках (див. рис. 3.1, блок 9).

- якщо СКВ на поточному кроці перевищує СКВ на попередньому, то з усіх отриманих поліномів вибирається поліном з мінімальною дисперсією (див. рис. 3.1, блок 11).

Для побудови імітаційної моделі проведено розрахунок її параметрів на основі МГУА і алгоритму керування нагнітачем ГПА [86], а також використані інструментальні засоби пакету прикладних програм «MatLab». Враховуючи питому вагу впливу вхідних та вихідних параметрів на адекватність моделі нагнітача ГПА, пропонується застосувати наступні основні технологічні параметри.

Вхідні параметри:

- $P_{вх}$ – тиск на вході нагнітача;
- $T_{вх}$ – температура на вході нагнітача;
- N – оберти турбіни нагнітача.

Вихідні параметри:

- $P_{вих}$ – тиск на виході нагнітача;
- $T_{вих}$ – температура на виході нагнітача;
- ΔP – перепад тиску на конфузорі нагнітача.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Для побудови математичної моделі застосовано експериментальні вибірки значень визначених технологічних параметрів нагнітача на основі даних функціонуючої САК ГПА, записані в форматі електронних таблиць «MS Excel». Дані отримано від САК ГПА за період з 1000 04.02.2014 р. до 1500 08.02.2014 р. з дискретністю 1 сек. при різних режимах роботи ГПА компресорної станції «Бердичів» УМГ «Київтрансгаз» (див. дод. Г).

Крім того, для подальшої обробки даних їх необхідно перенести у середовище «MatLab» (для реалізації даного процесу застосовано функції « xlsread » імпорту та експорту даних):

$$num = \text{xlsread}(\, filename, sheet, xlRange), \tag{3.4}$$

де num – змінна, в яку записується результат;

$filename$ – змінна, що містить шлях до файлу;

sheet – змінна, що містить назву аркуша в електронній таблиці «MS Excel»;

xlRange – змінна, що містить діапазон полів таблиці, який необхідно зчитати.

Таким чином, після виконання даної функції, у визначену змінну буде записано дані з таблиці «MS Excel» відповідно до заданого аркуша і діапазону полів [87].

При одержанні експериментальних даних виконувалась нерівномірна дискретизація за часом, що пов’язано із особливостями збору даних в подібних системах, тому існує необхідність попередньої обробки технологічних даних шляхом інтерполяції [88].

Для інтерполяції технологічних даних застосовано наступну функцію [89]:

$$vq = \text{interp1}(x, v, xq, method), \tag{3.5}$$

де vq – значення, отримані при інтерполяції;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

x – абсциси вузлів інтерполяції;

v – ординати вузлів інтерполяції;

xq – абсциси проміжних, по відношенню до вузлів інтерполяції точок;

$method$ – метод інтерполяції.

В результаті інтерполяції отримано масиви даних з дискретизацією за часом одна секунда з кількістю значень параметрів 363480.

Для вирішення задачі пошуку коефіцієнтів апроксимуючого полінома застосовано функцію «lsqcurvefit» [90]:

$$x = \text{lsqcurvefit}(fun, x0, xdata, ydata), \tag{3.6}$$

де x – змінна, в яку записуються розраховані коефіцієнти;

fun – апроксимуюча функція;

$x0$ – початкове наближення для знаходження коефіцієнтів апроксимуючої функції;

$xdata$ – значення аргументів апроксимуючої функції;

$ydata$ – значення апроксимуючої функції.

Функція здійснює розрахунок коефіцієнтів, вирішуючи при цьому наступну оптимізаційну задачу (мінімізацію квадрату різниці між експериментальними та розрахунковими значеннями апроксимуючого полінома):

$$\min_x \left\| F(x, xdata) - ydata \right\|_2^2 = \min_x \sum_i (F(x, xdata_i) - ydata_i)^2, \tag{3.7}$$

де x – вектор коефіцієнтів апроксимуючого полінома (цільова величина);

$xdata$ – вхідні дані;

$ydata$ – вихідні дані;

$F(x, xdata)$ – апроксимуюча функція.

Таким чином, функція (3.6) розраховує коефіцієнти апроксимуючої функції за допомогою МНК.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Лістинги програми розрахунку коефіцієнтів апроксимуючих поліномів на основі МГУА наведено в додатку Б.

Отримані середньоквадратичні відхилення поліномів на першій та другій ітераціях за кожним вихідним параметром наведені в табл. 3.1 і 3.2 (комбінації вхідних параметрів *PT* – тиск-температура, *PN* – тиск-оберти, *TN* – температура-оберти).

Таблиця 3.1 – Значення СКВ поліномів на першій ітерації

	Комбінація параметрів (PT)	**Комбінація параметрів (PN)**	**Комбінація параметрів (TN)**
$\mathbf{P_{вих}}$	0.6785	0.2585	2.3947
$\mathbf{T_{вих}}$	1.1890	2.7310	0.5957
ΔP	0.0384	0.0260	0.0295

Таблиця 3.2 – Значення СКВ поліномів на другій ітерації

	Комбінація параметрів (PT, PN)	**Комбінація параметрів (PT, TN)**	**Комбінація параметрів (PN, TN)**
$\mathbf{P_{вих}}$	0.2565	0.5438	0.2561
$\mathbf{T_{вих}}$	1.0326	0.5478	3.5174
ΔP	0.0240	0.0261	0.0301

Таким чином, проаналізувавши значення СКВ на ітераціях (див. табл. 3.1 і 3.2), обрано наступні комбінації параметрів:

1) для вихідного тиску $P_{вих}$:

- перша ітерація – комбінація *PN*;
- друга ітерація – комбінація *PN*, *TN*;

2) для вихідної температури $T_{вих}$:

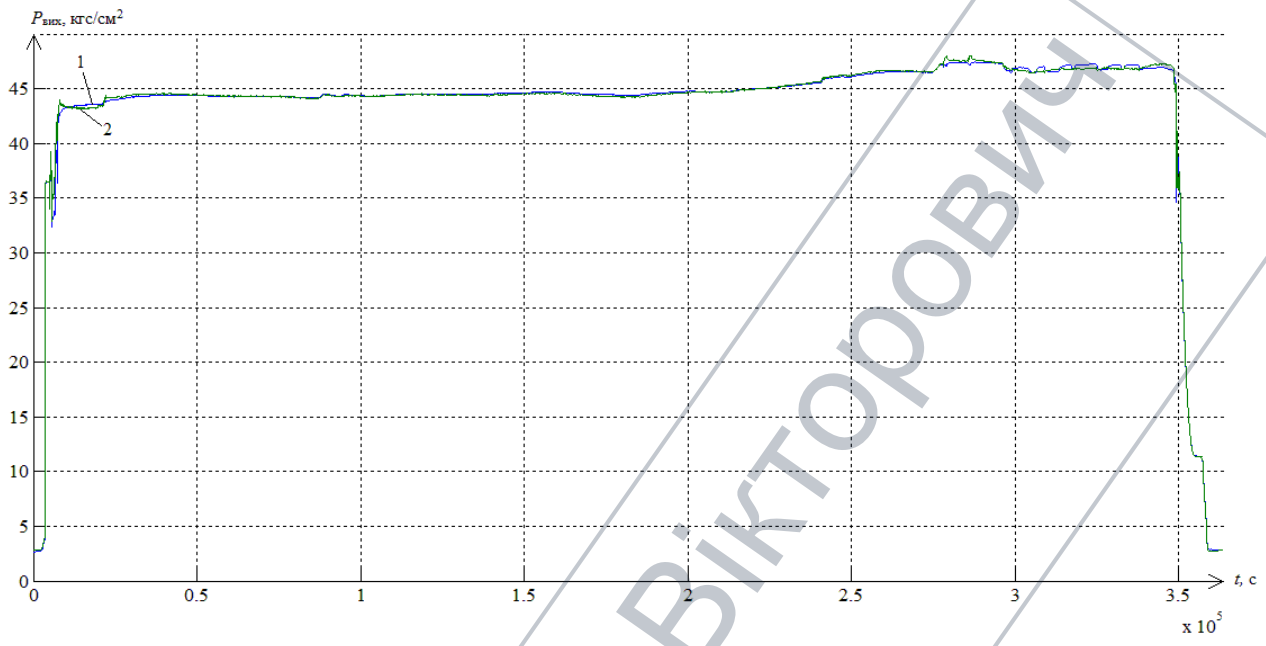
- перша ітерація – комбінація *TN*;
- друга ітерація – комбінація *PT*, *TN*;

3) для перепаду тиску на конфузорі тиску ΔP:

- перша ітерація – комбінація *PN*;
- друга ітерація – комбінація PT, PN.

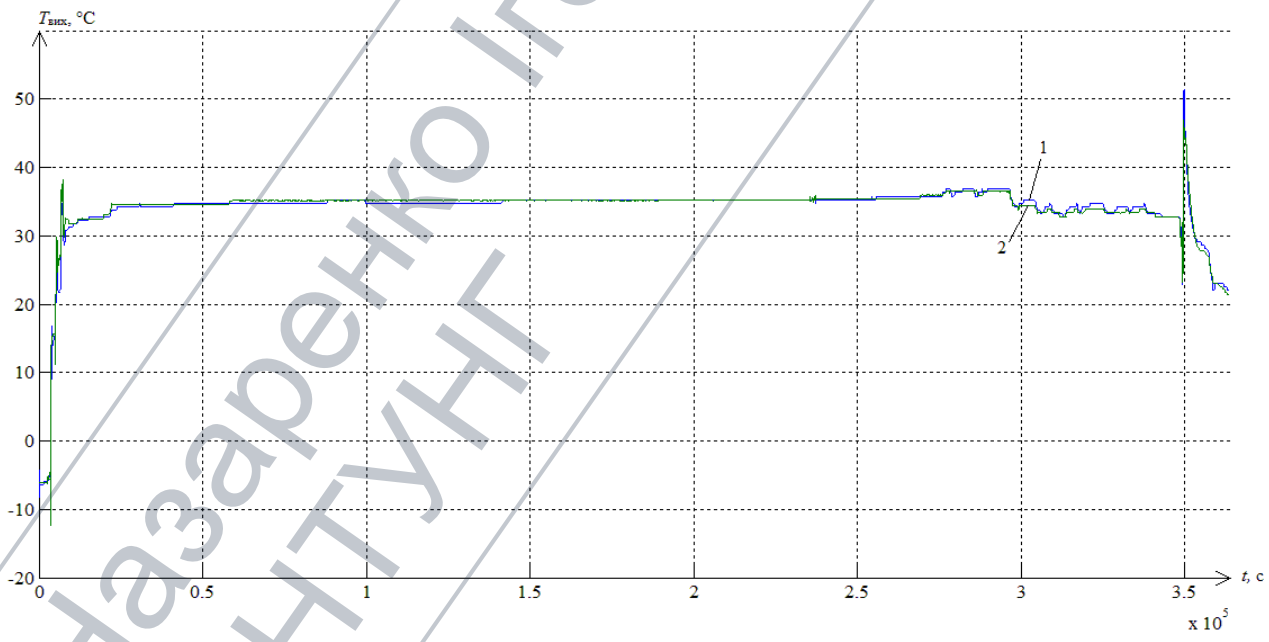
На рис. 3.2-3.4 зображено часові характеристики вихідних параметрів моделі нагнітача ГПА (експериментальні та розрахункові).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ



1 – експериментальні дані, 2 – розрахункові дані

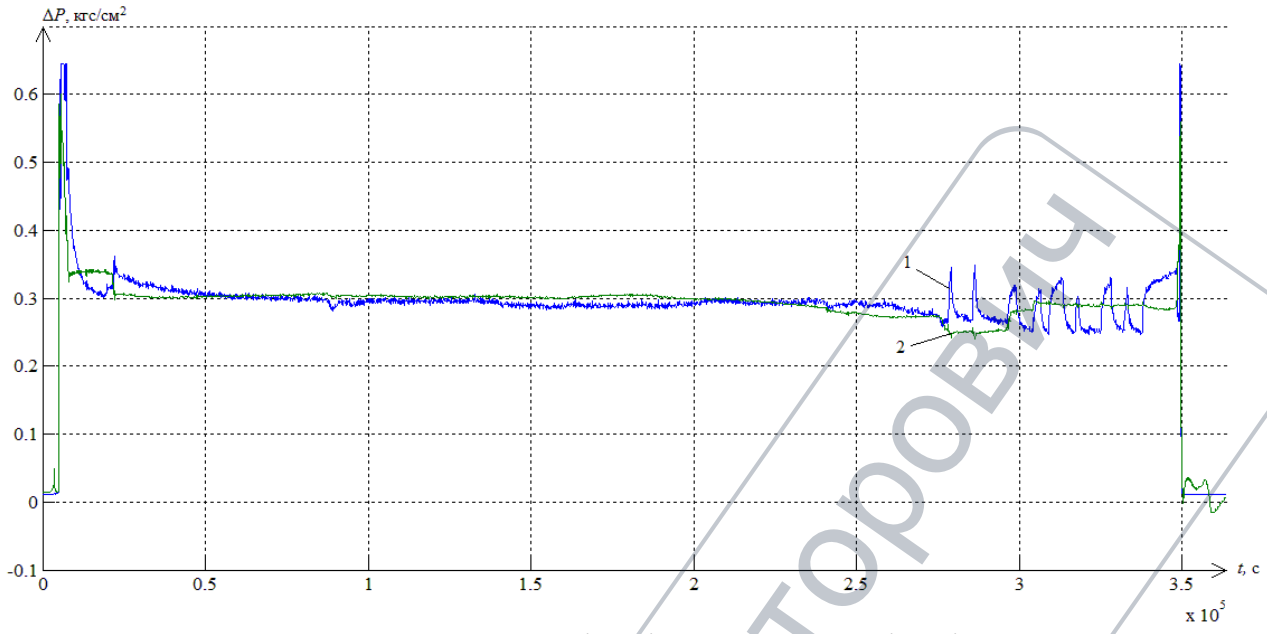
Рисунок 3.2 – Часова характеристика тиску на виході нагнітача ГПА



1 – експериментальні дані, 2 – розрахункові дані

Рисунок 3.3 - Часова характеристика температури на виході нагнітача ГПА

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ



1 – експериментальні дані, 2 – розрахункові дані

Рисунок 3.4 – Часова характеристика тиску на конфузорі нагнітача ГПА

Графіки часових характеристик вихідних величин моделі (див. рис. 3.2-3.4) свідчать про прийнятне відтворення експериментальних даних.

В табл. 3.3 і 3.4 наведено значення розрахованих коефіцієнтів апроксимуючих поліномів першого та другого рівнів.

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнтів поліномів першого рівня

	Комбінації вхідних параметрів	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
$P_{вих}$	PT	3.5658	0.5954	0.3079	0.0218	0.0042	-0.0208
	PN	0.0551	0.9855	-0.0080	0.0001	0.0007	0.0000
	TN	3.5013	-0.0523	0.0156	-0.0002	0.0149	0.0000
$T_{вих}$	PT	8.1046	-0.6373	1.7469	0.0529	-0.0008	-0.0508
	PN	3.7478	2.6938	-0.0254	0.0005	-0.0560	0.0000
	TN	0.0649	1.0407	-0.0045	0.0000	-0.0005	0.0000
ΔP	PT	0.0465	0.0151	0.0056	0.0005	-0.0004	-0.0006
	PN	0.0041	0.0018	0.0005	0.0000	-0.0001	0.0000
	TN	0.0169	0.0016	0.0004	0.0000	-0.0001	0.0000

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнтів поліномів другого рівня

	Комбінації вхідних параметрів	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
$P_{вих}$	PN, TN	0.3073	1.0436	-0.0651	0.0024	-0.0018	-0.0003
$T_{вих}$	PT, TN	0.1057	0.6366	0.3434	0.0732	-0.0414	-0.0313
ΔP	PT, PN	0.0009	0.4560	0.3882	0.8081	-1.2146	0.9161

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Запишемо рівняння за кожним вихідним параметром (3.8)-(3.13).

Отримані рівняння виражають залежність вихідних параметрів ГПА від групи вхідних параметрів.

Рівняння для вихідного тиску:

$$\begin{cases} P_{\text{вих}}(P,N) = 0.0551 + 0.9855P - 0.008N + 0.0001PN + 0.0007P^2, \\ P_{\text{вих}}(T,N) = 3.5013 - 0.0523T + 0.0156N - 0.0002TN + 0.0149T^2, \end{cases} \quad (3.8)$$

$$P_{\text{вих}}\left(P_{\text{вих}}^{\{P,N\}}, P_{\text{вих}}^{\{T,N\}}\right) = 0.3073 + 1.0436P_{\text{вих}}^{\{P,N\}} - 0.0651P_{\text{вих}}^{\{T,N\}} + \\ +0.0024P_{\text{вих}}^{\{P,N\}}P_{\text{вих}}^{\{T,N\}} - 0.0018\left(P_{\text{вих}}^{\{P,N\}}\right)^2 - 0.0003\left(P_{\text{вих}}^{\{T,N\}}\right)^2. \quad (3.9)$$

Рівняння для вихідної температури:

$$\begin{cases} T_{\text{вих}}(P,T) = 8.1046 - 0.6373P + 1.7469T + 0.0529PT - \\ \qquad -0.0008P^2 - 0.0508T^2, \\ T_{\text{вих}}(T,N) = 0.0649 + 1.0407T - 0.0045N - 0.0005T^2, \end{cases} \quad (3.10)$$

$$T_{\text{вих}}\left(T_{\text{вих}}^{\{P,T\}}, T_{\text{вих}}^{\{T,N\}}\right) = 0.1057 + 0.6366T_{\text{вих}}^{\{P,T\}} + 0.3434T_{\text{вих}}^{\{T,N\}} + \\ +0.0732T_{\text{вих}}^{\{P,T\}}T_{\text{вих}}^{\{T,N\}} - 0.0414\left(T_{\text{вих}}^{\{P,T\}}\right)^2 - 0.0313\left(T_{\text{вих}}^{\{T,N\}}\right)^2. \quad (3.11)$$

Рівняння для перепаду тиску на конфузові:

$$\begin{cases} \Delta P(P,T) = 0.0465 + 0.0151P + 0.0056T + 0.0005PT - \\ \qquad -0.0004P^2 - 0.0006T^2, \\ \Delta P(P,N) = 0.0041 + 0.0018P + 0.0005N - 0.0001P^2, \end{cases} \quad (3.12)$$

$$\Delta P\left(\Delta P^{\{P,T\}}, \Delta P^{\{P,N\}}\right) = 0.0009 + 0.456\Delta P^{\{P,T\}} + 0.3882\Delta P^{\{P,N\}} + \\ +0.8081\Delta P^{\{P,T\}}\Delta P^{\{P,N\}} - 1.2146\left(\Delta P^{\{P,T\}}\right)^2 + 0.9161\left(\Delta P^{\{P,N\}}\right)^2. \quad (3.13)$$

Таким чином, отримані рівняння для вихідних параметрів моделі нагнітача ГПА, які представляють собою складні вирази, оскільки спочатку обчислюються два поліноми першого рівня (3.8), (3.10), (3.12), а остаточні вирази (3.9), (3.11), (3.13) – функції від значень даних поліномів. Дані рівняння будуть використані при розробці складових компонентів моделі нагнітача ГПА

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

в середовищі «MatLab Simulik» для дослідження режимів його роботи і створення ефективних алгоритмів керування.

Основою для реалізації моделі нагнітача ГПА інструментальними засобами програмного пакету «Simulink» є блок «MatLab» Function (бібліотека «User-Defined Functions») (рис. 3.5), що дозволяє інтегрувати програму у вигляді текстових інструкцій в Simulink-модель об'єкта у випадках, якщо реалізація заданої функції не підтримується стандартним набором блоків [91, 92]. Даний підхід дозволяє розширити функціональність інструментальних засобів моделювання і уніфікувати процедури створення моделей.

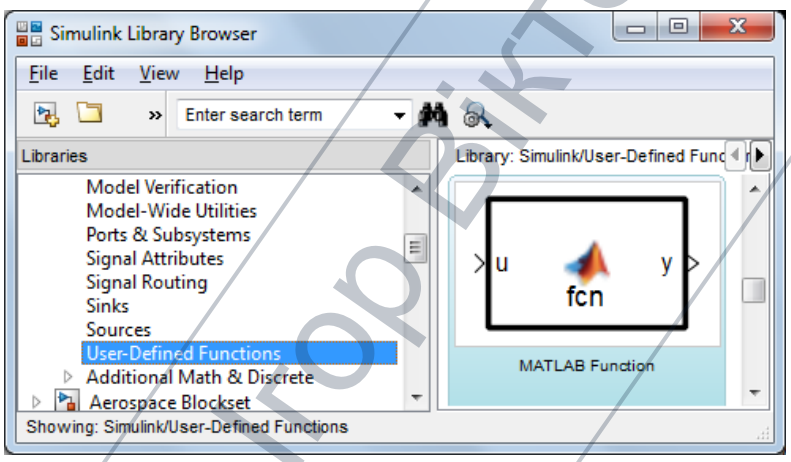


Рисунок 3.5 – Реалізація блоку «Function» інструментальними засобами програмного пакету «Simulink»

На рис. 3.6 наведено Simulink-модель нагнітача ГПА, створену за допомогу блоку «Subsystem».

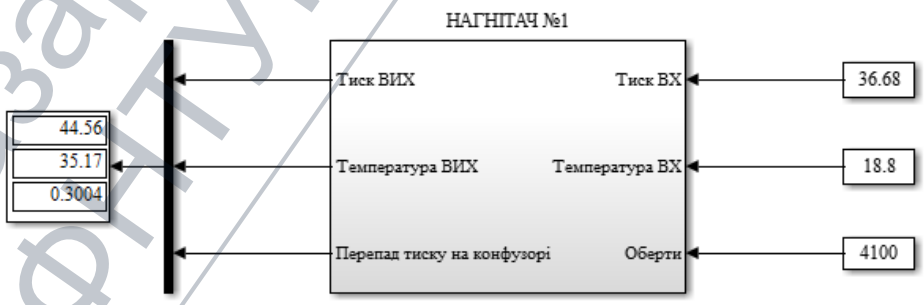


Рисунок 3.6 – Simulink-модель нагнітача ГПА (блок «Subsystem») та результати симуляції

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

На рис. 3.7 наведено Simulink-модель нагнітача ГПА (внутрішня структура блоку «Subsystem»), яка включає вхідні та вихідні порти сигналів (технологічних параметрів), блоки індикації та розрахунковий блок з реалізацією алгоритму розрахунку вихідних технологічних параметрів моделі за вхідними.

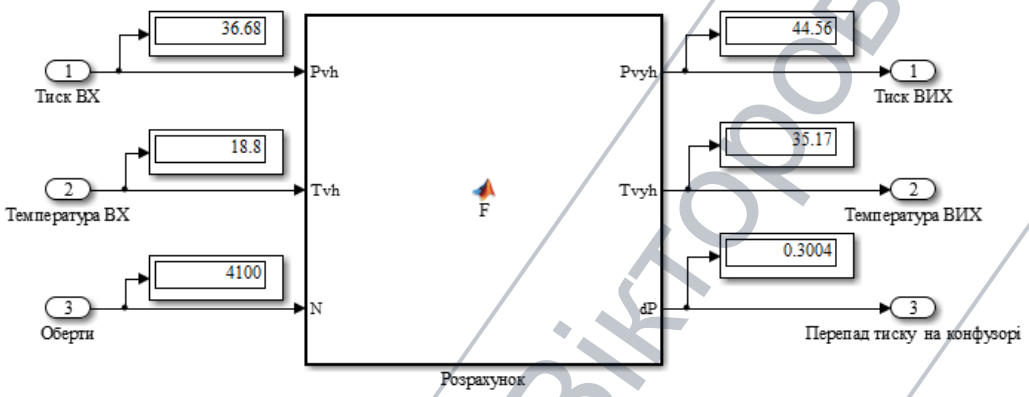


Рисунок 3.7 – Simulink-модель нагнітача ГПА
(внутрішня структура блоку «Subsystem»)

Нижче наведено фрагмент програми, яка реалізована у блоці «Розрахунок» (див. рис. 3.7). Повна програма наведена в додатку Б.

```
function [Pvyh, Tvyh, dP] = F(Pvh, Tvh, N)
% Використовується метод групового обліку аргументів
% Pvh – Тиск газу на вході в нагнітач
% Tvh – Температура газу на вході в нагнітач
% N – Оберти турбіни нагнітача

% Розрахунок вихідного тиску

PvyhPN = aPN(1) + aPN(2)*Pvh + aPN(3)*N + aPN(4)*Pvh*N + ...
aPN(5)*Pvh^2 + aPN(6)*N^2;

PvyhTN = aTN(1) + aTN(2)*Tvh + aTN(3)*N + aTN(4)*Tvh*N + ...
aTN(5)*Tvh^2 + aTN(6)*N^2;
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

*Pvyh = aPNTN(1) + aPNTN(2)*PvyhPN + aPNTN(3)*PvyhTN + ...*

*aPNTN(4)*PvyhPN*PvyhTN + aPNTN(5)*PvyhPN^2 + ...*

*aPNTN(6)*PvyhTN^2;*

В результаті апробації Simulink-модель нагнітача ГПА (див рис. 3.6, 37), одержано результати (значення вхідних і вихідних параметрів), які дозволяють оцінити взаємозв'язок між вхідними та вихідними параметрами і дослідити режими роботи ГПА шляхом застосування попередньо створених тестових сигналів (методи створення яких розроблені в розд. 2.3).

3.2 Дослідження і розробка алгоритмів контролю технологічних параметрів на аномальність і наявність тренду

На практиці, при експлуатації САК КС виникають ситуації, при яких для прийняття окремих управлінських рішень необхідним є аналіз і застосування статистичної обробки даних. При цьому, формуються декілька гіпотез, які перевіряються на базі обраного статистичного критерію [46].

Відсутність в системах САК алгоритмів перевірки даних на «аномальність» та «наявність тренду» призводить до хибних спрацювань систем захисту та, як наслідок, вимушених зупинок ГПА, що порушує режим транспортування газу та супроводжується технологічними втратами газу.

Таким чином, актуальною є задача розробки методики, яка б дозволяла в режимі реального часу проводити аналіз технологічних даних, перевірка яких передбачена алгоритмом аварійної зупинка ГПА, на «аномальність» та «наявність тренду».

Аномальність характеризує факт, що той чи інший елемент вибірки відхиляється від відомого середнього значення, чи від закону розподілу, який впливає на вибірку. Для перевірки даних на аномальність пропонується застосувати статистичний критерій, що базується на розподілі Стьюдента [47].

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Після вибору статистичного критерію та завдання рівня значущості необхідно визначити елемент вибірки, що підлягає перевірці. При цьому, якщо значення статистичного критерію не перевищує критичного значення квантилі, то вибраний елемент вважається нормальним, а в іншому випадку - аномальним.

Для виявлення тренду, застосовуються методи математичної статистики на основі кореляційного аналізу. Алгоритм контролю передбачає розрахунок значень математичного очікування та середньоквадратичного відхилення на основі значень елементів вибірки технологічних параметрів і елементів вибірки моментів часу. Одержані значення порівнюються з критичними значеннями квантилі статистичного розподілу і робиться відповідний висновок. Якщо результат статистичної обробки не перевищує критичного значення квантилі, констатується наявність тренду, а в іншому випадку – його відсутність.

Реалізація алгоритмів контролю технологічних параметрів на аномальність та наявність тренду, описаних вище, виконана інструментальними засобами пакету прикладних програм «MatLab».

Нехай, для прикладу, задано два діапазони значень технологічних параметрів Δ1 та Δ2, вибірки яких отримано експериментальним шляхом.

На рис. 3.8 і 3.9 наведено графічне представлення значень вказаних вибірок технологічних параметрів в залежності від номера елемента вибірки.

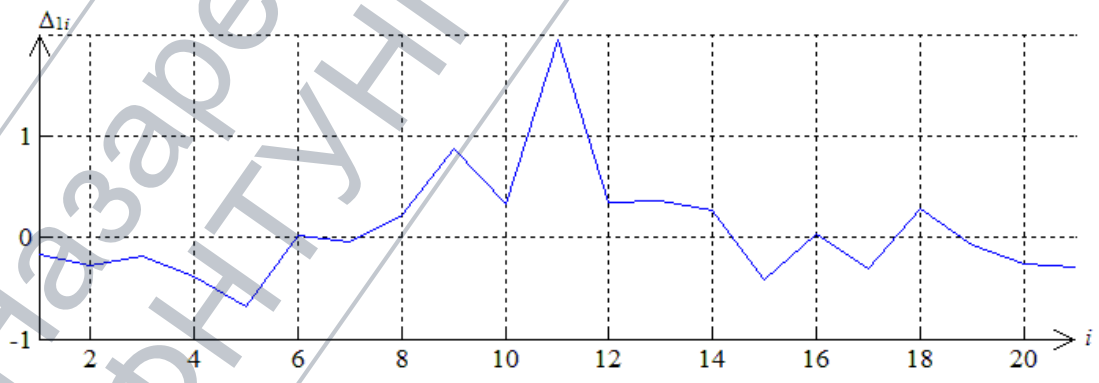


Рисунок 3.8 – Графічне представлення значень вибірок технологічних параметрів з діапазону Δ_1

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

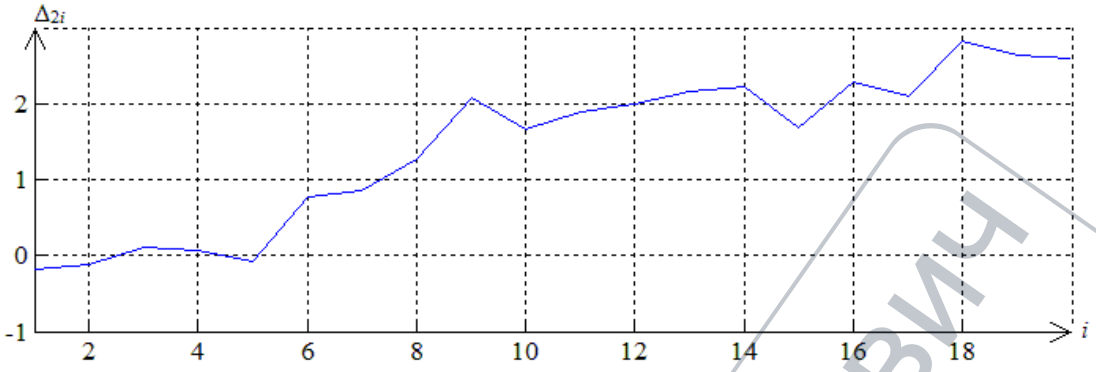


Рисунок 3.9 – Графічне представлення значень вибірок технологічних параметрів з діапазону Δ_2

Нижче наведено фрагмент лістингу програми, в якій реалізовано алгоритм перевірки елементів вибірки на аномальність. Повну програму наведено в додатку Б.

```
Deltac = max(abs(Delta1));
pos = find(abs(Delta1) == Deltac);
Deltac = Delta1(pos);
Delta2 = Delta1(Delta1 ~= Deltac);
Delta2av = sum(Delta2) / (n - 1);
Delta2var = sqrt(sum((Delta2 - Delta2av).^2) / (n - 1));
t = abs((Delta2av - Deltac)) * sqrt(n - 1) / Delta2var;
tc = tinv(1 - alpha/2, n - 2);
```

Нижче наведено лістинг результатів (чисельні значення змінних) виконання вищевказаного фрагменту програми.

```
pos = 11          Deltac = 1.9400
t = 24.8373       tc = 2.8609
```

З результатів виконання програми видно, що одинадцятий елемент вибірки Δ1 зі значенням 1.94 є аномальним, оскільки модуль одновибіркового критерію Стьюдента перевищує критичне значення квантилі розподілу Стьюдента.

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

Аналогічно реалізовано алгоритм перевірки на наявність тренду. Нижче подано фрагмент лістингу, в якому реалізується даний алгоритм. Повну програму подано в додатку Б.

```
function r = crl(x, y, n)
r = (n * sum(x .* y) - sum(x) * sum(y)) / (sqrt((n * sum(x .^ 2) - (sum(x)) ^ 2)
*...
* (n * sum(y .^ 2) - (sum(y)) ^ 2)));

n = length(Delta2);
i = 1:n;
r = crl(Delta2, i, n);
t = r * sqrt((n - 2) / (1 - r ^ 2));
tc = tinv(1 - alpha/2, n - 1);
```

Нижче наведено лістинг результатів (чисельні значення змінних) виконання вищевказаного фрагменту програми.

```
r = 0.9354        t = 11.2276        tc = 2.8609
```

Таким чином, у вибірці Δ2 спостерігається тренд, оскільки обчислена статистика перевищує критичне значення квантилі розподілу Стьюдента.

Для реалізації алгоритмів перевірки елементів вибірки на наявність аномалії та тренду застосовано блок «MatLab Function». При застосуванні і апробації даного блоку для вирішення задач контролю технологічних параметрів виявилися обмеження, які необхідно вирішувати шляхом модифікації алгоритмічних рішень.

При модифікації програми реалізації алгоритму перевірки на наявність аномалії було змінено метод пошуку позиції критичного елемента в межах вибірки (у вихідному лістингу (див. додаток Б) вона присвоюється змінній *pos* і визначається за допомогою функції *find()*, де в дужках записується умова (критерій) пошуку). Проте можуть виникати ситуації, коли заданій умові відповідають декілька елементів і відповідно функція буде повертати вже масив

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

позицій. Це вносить певну невизначеність, оскільки в такому випадку розмірність змінної є нефіксованою. В модифікованому лістингу (див. додаток Б) пошук виконується за допомогою циклу *while*, що гарантує знаходження лише однієї позиції, яка відповідає заданій умові. Іншим обмеженням блоку є те, що він не підтримує усі функції, вбудовані у мову програмування середовища «MatLab», наприклад, функцію визначення квантилі розподілу Стьюдента *tinv()*. Для використання таких функцій необхідно вказати, що вони будуть оброблятися самою платформою «MatLab», де вони підтримуються. Це декларується записом – *coder.extrinsic()*, де в дужках потрібно вказати назву функції.

Також слід звернути увагу на те, що перед застосуванням функції *tinv()* змінній *tc* присвоюється значення нуль. Це пояснюється тим, що перше застосування змінної визначає її тип і властивості. Таким чином, цим присвоєнням задається тип дійсних чисел.

Після збереження лістингу програми в блоці «MatLab Function» на ньому відобразяться задані входи та виходи (рис. 3.10).

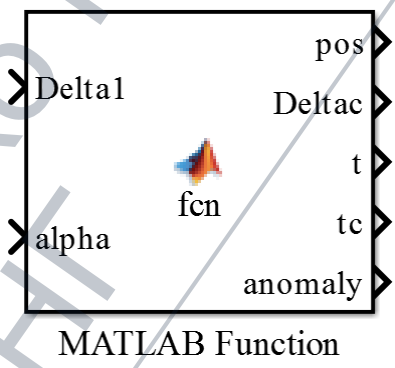


Рисунок 3.10 – Блок «MatLab Function» із заданими входами та виходами (алгоритм перевірки на аномальність)

На рис. 3.11 наведено модель для реалізації алгоритму перевірки на аномальність. На вхід «Delta1» подається вектор сталих значень розмірністю двадцять один, який задає експериментальну вибірку. На вхід «alpha» також подається константа – рівень значущості.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Вхідний вектор подається на демультиплексор та надходить до трьох дисплеїв, які служать для візуалізації значень вибірки.

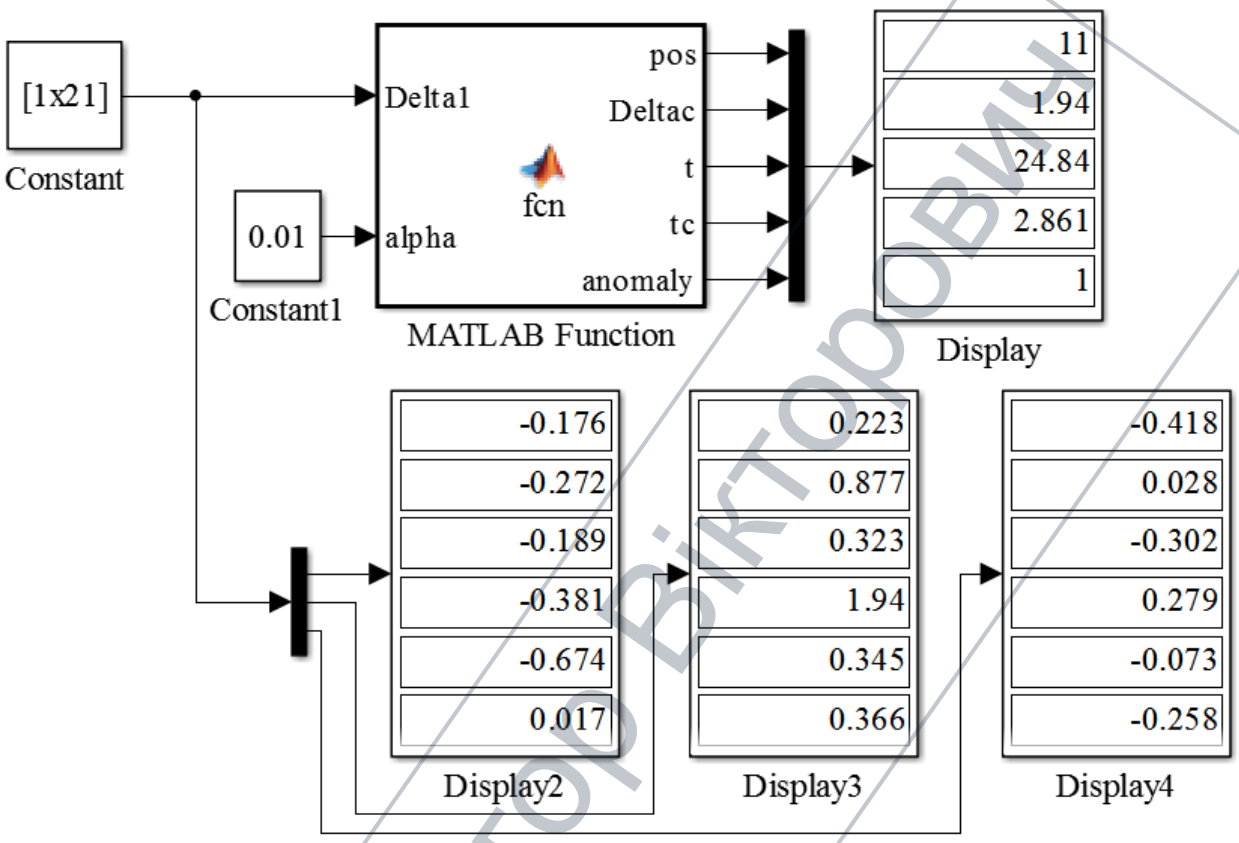


Рисунок 3.11 – Реалізація моделі алгоритму контролю на аномальність

Після обробки вхідних даних результати надходять на мультиплексор та подаються на один дисплей для відображення.

Аналогічно реалізується алгоритм перевірки на наявність тренду.

При модифікації програми реалізації алгоритму перевірки на наявність тренду внесені зміни е частиною змін які вносились при модифікації програми реалізації алгоритму перевірки на аномальність. Модифікований лістинг наведено в додатку Б.

На рис. 3.12 і 3.13 наведено функціональний блок та модель реалізації алгоритму перевірки на наявність тренду, відповідно.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

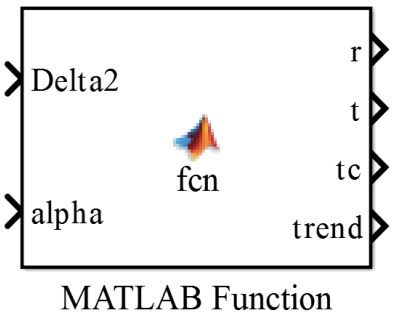


Рисунок 3.12 – Блок «MatLab Function» із заданими входами та виходами (алгоритм перевірки на наявність тренду)

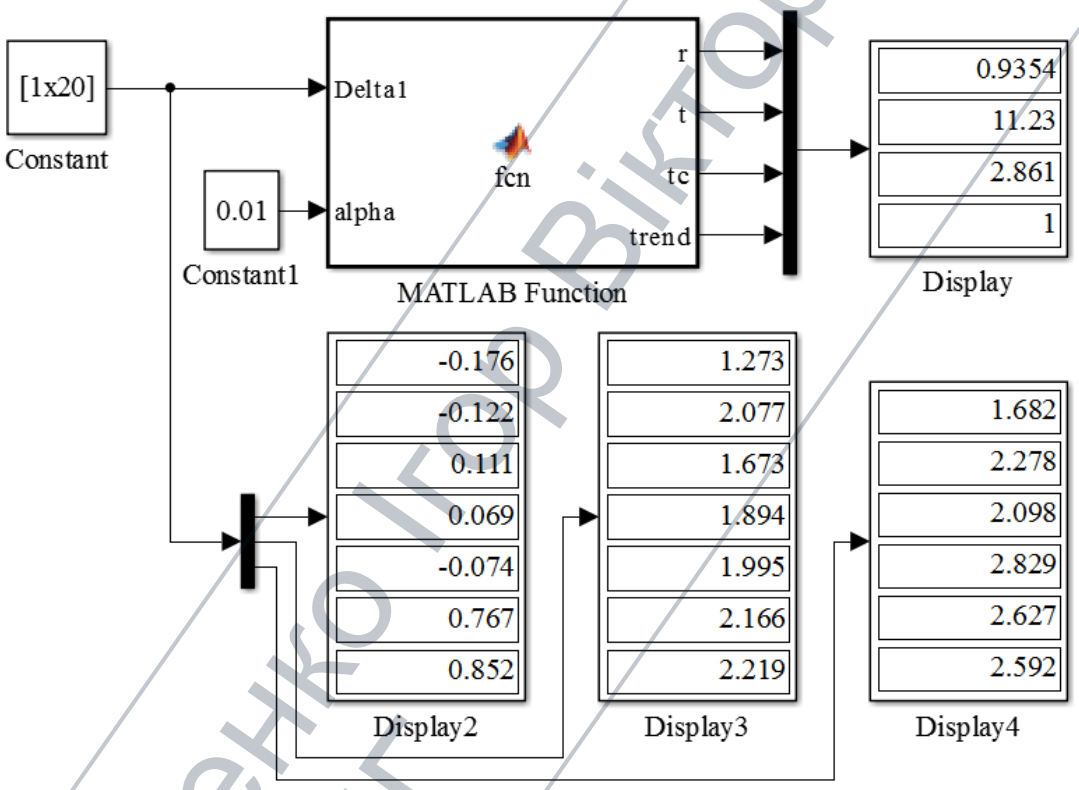


Рисунок 3.13 – Реалізація моделі контролю наявності тренду

Таким чином, для контролю технологічних параметрів на аномальність та наявність тренду визначено статистичні критерії на основі методів математичної статистики і кореляційного аналізу та розроблено алгоритмічне забезпечення. Реалізовано динамічні моделі алгоритмів контролю на аномальність та наявність тренду на основі уніфікованих процедур. Дані алгоритми і моделі можуть застосовуватись разом із алгоритмами і моделями для дослідження режимів роботи САК КС.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

3.3 Розробка алгоритмічного забезпечення та імітаційне моделювання системи автоматизованого керування компресорним цехом

Для дослідження режимів роботи КЦ КС, в плані забезпечення максимальної комерційної продуктивності, в роботі розроблено алгоритмічне забезпечення та імітаційну модель для дослідження показників продуктивності ГПА. Імітаційна модель компресорного цеху складається із шести нагнітачів, кранової обв'язки і цехового регулятора (рис. 3.14).

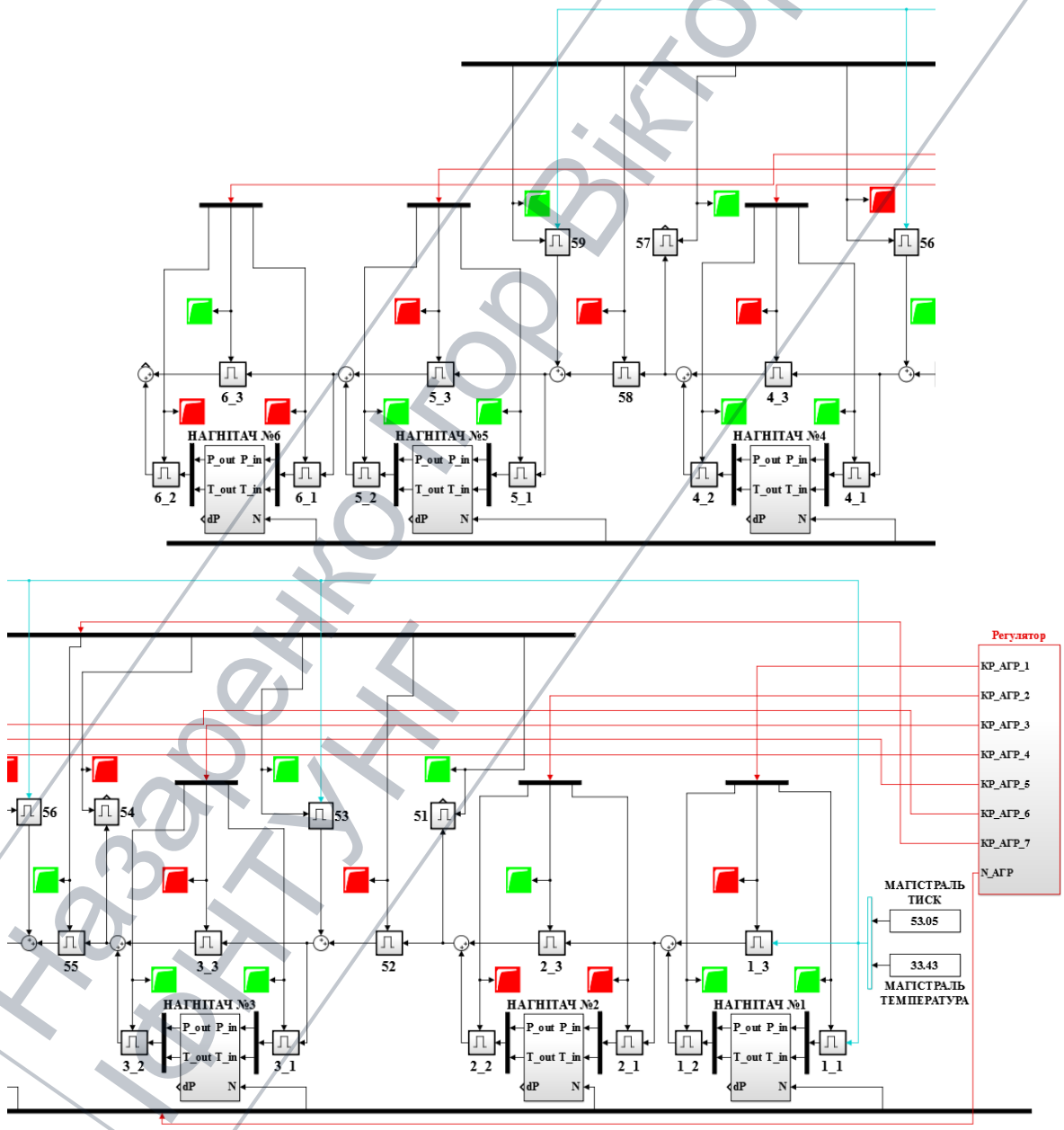


Рисунок 3.14 – Імітаційна модель компресорного цеху

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Основна задача регулятора компресорного цеху – підтримка заданого режиму транспортування газу [93].

Регулювання здійснюється за рахунок:

- зміни частоти обертів кожного ГПА в заданому діапазоні;
- зміни кількості працюючих ГПА в цеху;
- зміни схеми включення ГПА (послідовно або паралельно).

Регулятор виконано на основі блоку «Subsystem» з внутрішньо налаштованим зв'язком з OPC-сервером в середовищі «MatLabSimulink».

Крани виконані на основі блоку «Enabled Subsystem» (рис. 3.15), який дозволяє налаштувати блок із входом дозволу [94].

Якщо на вході дозволу активний сигнал, то сигнал з входу блоку передається на вихід (або спочатку проходить певну обробку, в залежності від вмісту блоку). При неактивному сигналі вихідний сигнал буде сталою. Можливе параметрування двох режимів:

- вихідний сигнал повертається в попередньо задане початкове значення;
- на виході утримується останнє значення сигналу.

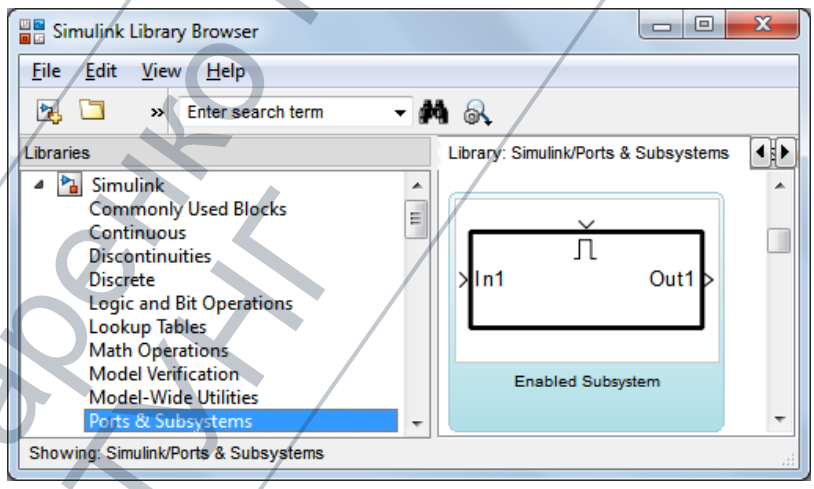


Рисунок 3.15 – Параметрування блоку «Enabled Subsystem»

Біля кожного крану встановлено світлодіодний індикатор, який відображає його стан (зелений колір – відкритий, червоний – закритий) (див. рис. 3.14). При цьому задача підтримки заданого режиму транзиту газу підтримується в автоматичному або напівавтоматичному режимі.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Розрахунок комерційної продуктивності кожного відцентрового нагнітача (ВЦН) включає наступні параметри:

- $P_{вх}$ – вхідний тиск, кгс/см^2;
- $T_{вх}$ – вхідна температура, °С;
- N – оберти ВЦН, об/хв;
- ΔP – перепад тиску на конфузорі нагнітача, кгс/см^2;
- Δ – відносна густина газу за повітрям.

В умовах працюючого цеху перші чотири параметри отримують від САК кожного ГПА, відносна густина газу визначається хімічною лабораторією лінійного виробничого управління магістральних газопроводів (ЛВУ МГ) за складом та параметрами газу згідно ДСТУ 5542-87 [95] та оформляється відповідним «Протоколом якості газу».

Для моделі КЦ перші три параметри задаються користувачем, а розрахунок значення перепаду тиску на конфузорі нагнітача розраховується з використанням МГУА.

Комерційна продуктивність нагнітача визначається за формулами [21]:

$$Q_{ком} = 1.44 \cdot 10^{-3} \frac{Al}{\rho_н} \sqrt{735.6\, \rho \Delta P}, \qquad (3.14)$$

де $Q_{ком}$ – комерційна продуктивність, млн. м^3/добу;

A – коефіцієнт об'ємної продуктивності конфузора нагнітача, який наведено у технічній документації (для ВЦН 520-12-1 значення складає 128.8);

l – поправка на стискання газу (визначається для величини показника адіабати газу k=1.31);

$\rho_н$ – густина газу за нормальних умов, кг/м^3;

ρ – густина газу на вході в нагнітач, кг/м^3.

Поправка на стискання газу розраховується за формулою:

$$l = 1 - 1.102 \cdot 10^{-3} \frac{735.6 \Delta P}{\rho_н}. \qquad (3.15)$$

Густина газу за нормальних умов визначається як:

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

$$\rho_{н} = 1.206\Delta. \tag{3.16}$$

Густина газу на вході в нагнітач визначається за формулою:

$$\rho = \frac{P_{вх} \cdot 10^4}{RZ(T_{вх} + 273.15)}, \tag{3.17}$$

де R – газова стала;

Z – коефіцієнт стисливості газу.

Газова стала розраховується за формулою:

$$R = \frac{R_{п}}{\Delta}, \tag{3.18}$$

де $R_{п}$ = 286.8 Дж/(кг·К) = 29.27 кгс/(кг·К) – газова стала сухого повітря.

Коефіцієнт стисливості газу Z визначається з модифікованого рівняння стану Бенедикта – Вебба – Рубіна:

$$Z^3 - Z^2 - aZ - b = 0. \tag{3.19}$$

Коефіцієнти рівняння:

$$a = \pi\left(\frac{0.1237}{\tau} - \frac{0.3468}{\tau^2} - \frac{0.1188}{\tau^4}\right), \tag{3.20}$$

$$b = \pi^2\left(\frac{0.0291}{\tau^2} - \frac{0.0273}{\tau^3} - \frac{0.039}{\tau^5}\right), \tag{3.21}$$

де π – приведений тиск, МПа;

τ – приведена температура, К.

Приведені значення тиску та температури визначаються як:

$$\pi = \frac{0.09807P_{вх} + 1.33 \cdot 10^{-4}P_{а}}{P_{кр}}, \tag{3.22}$$

$$\tau = \frac{T_{вх} + 273.15}{T_{кр}}, \tag{3.23}$$

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

де $P_а$ – тиск атмосферного повітря, мм.рт.ст (1 мм.рт.ст = 133 Па);

$P_{кр}$ – критичний тиск, МПа;

$T_{кр}$ – критична температура газу, К.

Критичні значення тиску та температури розраховуються за формулами:

$$P_{кр} = 4.67 - 0.1\Delta, \tag{3.24}$$

$$T_{кр} = 99.8 + 162.8\Delta. \tag{3.25}$$

Наведене кубічне рівняння (3.26), дійсний корінь якого є значенням коефіцієнта стисливості газу, розв'язується методом Кардано [96].

Кубічне рівняння:

$$x^3 + ax^2 + bx + c = 0 \tag{3.26}$$

за допомогою підстановки $x = y - \frac{a}{3}$ зводиться до «неповного» вигляду:

$$y^3 + py + q = 0, \quad p = -\frac{a^2}{3} + b, \quad q = 2\left(\frac{a}{3}\right)^3 - \frac{ab}{3} + c. \tag{3.27}$$

Корені рівняння розраховуються з наступних співвідношень:

$$\left.\begin{gathered} y_1 = A + B, \quad y_{2,3} = -\frac{A+B}{2} \pm i\frac{A-B}{2}\sqrt{3}, \\ A = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}, \quad B = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}, \\ Q = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2. \end{gathered}\right\} \tag{3.28}$$

Якщо усі коефіцієнти рівняння (3.27) дійсні, то значення Q також є дійсним і за його знаком можна визначити тип коренів:

- $Q > 0$ – один дійсний та два комплексно спряжені корені;
- $Q = 0$ – три дійсні (однократний та двократний) корені;
- $Q < 0$ – три дійсні (різні) корені.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Об’ємна продуктивність нагнітача за параметрами входу визначається за формулою:

$$Q_v = Al\sqrt{\frac{735.6\Delta P}{\rho}}. \quad (3.29)$$

Приведена об’ємна продуктивність нагнітача визначається як:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{н}}}{N} Q_v, \quad (3.30)$$

де $N_{\text{н}}$ – номінальне значення частоти обертів нагнітача, об/хв.

На рис. 3.16 наведено розроблену імітаційну модель для дослідження показників продуктивності, що наведені в табл. 3.5 нагнітача ГПА та результати симуляції. Лістинг програми, реалізованої у функціональному блоці наведено у додатку Б.

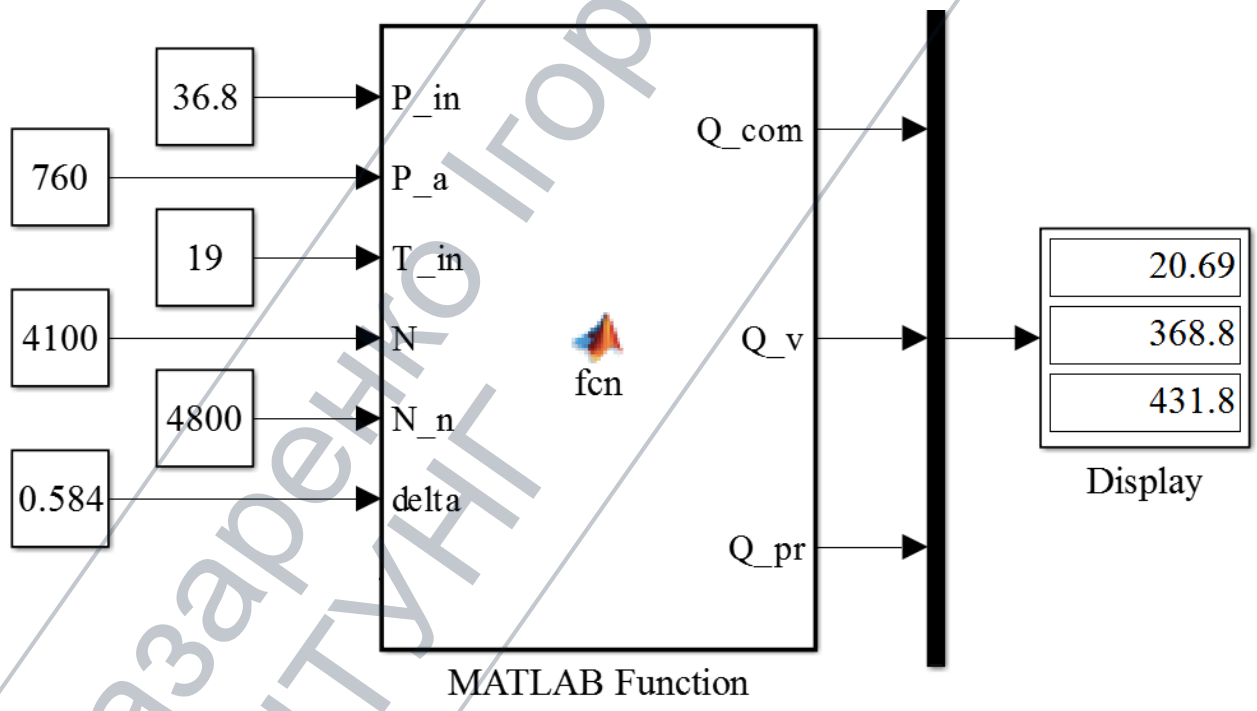


Рисунок 3.16 – Імітаційна модель для дослідження показників продуктивності нагнітача ГПА

В табл. 3.5 наведено вихідні дані для розрахунку і отримані значення продуктивностей (розраховані за формулами).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Таблиця 3.5 – Вхідні дані та результати ручного розрахунку показників продуктивності нагнітача ГПА

Позначення	Примітка	Значення	Одиниці Вимірювання
ΔP	Задається користувачем	0.31	кгс/см^2
$P_{вх}$		36.8	
$T_{вх}$		19	°С
N		4100	об/хв
Δ	З протоколу хімлабораторії	0.584	
$R_п$	Довідник	29.27	кгс/(кг·К)
A	Паспорт на ГПА	128.8	
$\rho_н$	Розрахунок за формулою	0.704304	кг/м^3
R		50.119863	кгс/(кг·К)
Z		0.9172002	
l		0.9931713	
$N_н/N$		1.1707317	
$Q_{ком}$		20.674168	млн. м^3/добу
Q_v		369.02669	м^3/хв
$Q_{прив}$		432.03124	

Порівняння результатів моделювання (див. рис. 3.16) та розрахункових значень (див. табл. 3.5), свідчать, що обчислення, виконані шляхом моделювання функціонального блоку на основі розробленого алгоритму близькі до розрахункових, а тому є коректними.

3.4 Організація OPC-комунікації та людино-машинного інтерфейсу на базі SCADA-системи

Для дослідження, візуалізації, адміністрування, архівування, виводу аварійних повідомлень та організації комунікаційних з’єднань в САК КЦ, а також для комунікації з моделями застосовано SCADA-систему WinCC «Siemens» з вбудованим OPC-сервером.

При реалізації процедури організації комунікації між Simulink-моделями та верхнім рівнем САК використано блоки з бібліотеки «OPC Toolbox» пакету «MatLab» [97].

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Відповідно у модулі WinCC Explorer SCADA-системи необхідно створити окрему групу тегів OPC («In» та «Out»), які будуть відповідати за двонаправлену комунікацію з імітаційною моделлю (рис. 3.17).

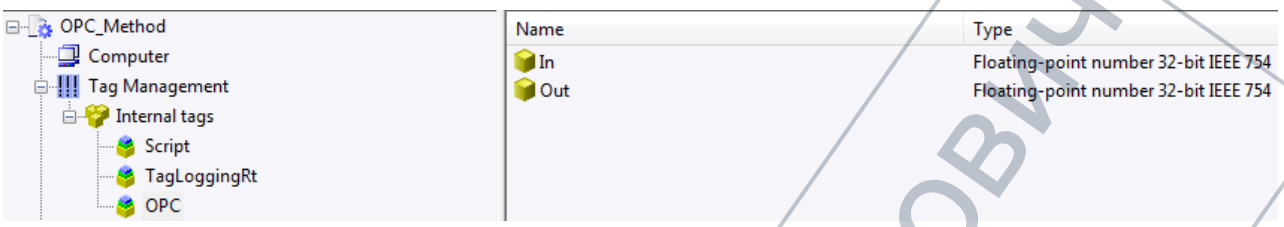


Рисунок 3.17 – Система тегів OPC для комунікації з імітаційною моделлю

Для цього необхідно розробити програму на мові ANSI-C. Лістинг наведено нижче.

```
#include "apdefap.h"
void OnKeyDown(char* lpszPictureName, char* lpszObjectName, char*
lpszPropertyName, UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags)
{
SetTagDouble("In",GetPropDouble(lpszPictureName,"I/O Field1",
"InputValue"));
}
```

Важливою складовою для дослідження режимів роботи САК КС на основі SCADA є організація двостороннього інтерфейсу для взаємодії імітаційних моделей зі SCADA-системою в режимі реального часу (процедура організації двонаправленої комунікації між Simulink-моделями АСК і SCADA наведено в додатку В).

Для забезпечення динамічної зміни величин та властивостей об’єктів на мнемосхемі необхідно створити і налаштувати систему тегів.

SCADA-система WinCC працює з двома типами тегів (змінних) [98]: внутрішніми та зовнішніми.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Внутрішні теги не пов’язані з процесом, використовуються тільки в додатках WinCC, наприклад, для внутрішніх операцій і обчислень.

Для роботи із зовнішніми тегами необхідно встановити комунікаційний драйвер «SIMATIC S7 Protocol Suite» (рис. 3.18).

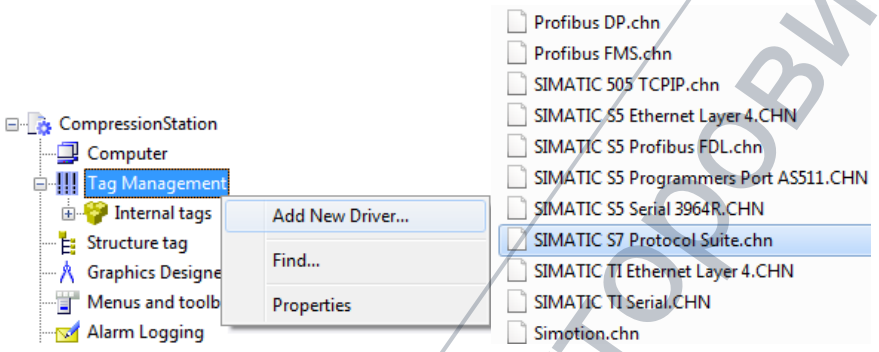


Рисунок 3.18 – Процес задання комунікаційного драйвера для проекту в SCADA WinCC

На рис. 3.19 наведено процес задання комунікаційної шини Industrial Ethernet та вибір опції «New Driver Connection…» (створення нового підключення, яке буде використано для створення системи зовнішніх тегів).

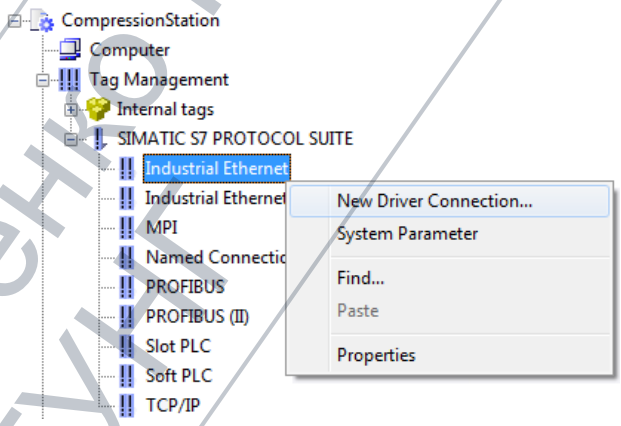


Рисунок 3.19 – Задання комунікаційної шини Industrial Ethernet

Нижче наведено результати створення у новому з’єднанні груп, які об’єднуватимуть теги, що відносяться до однотипних об’єктів чи параметрів (рис. 3.20).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

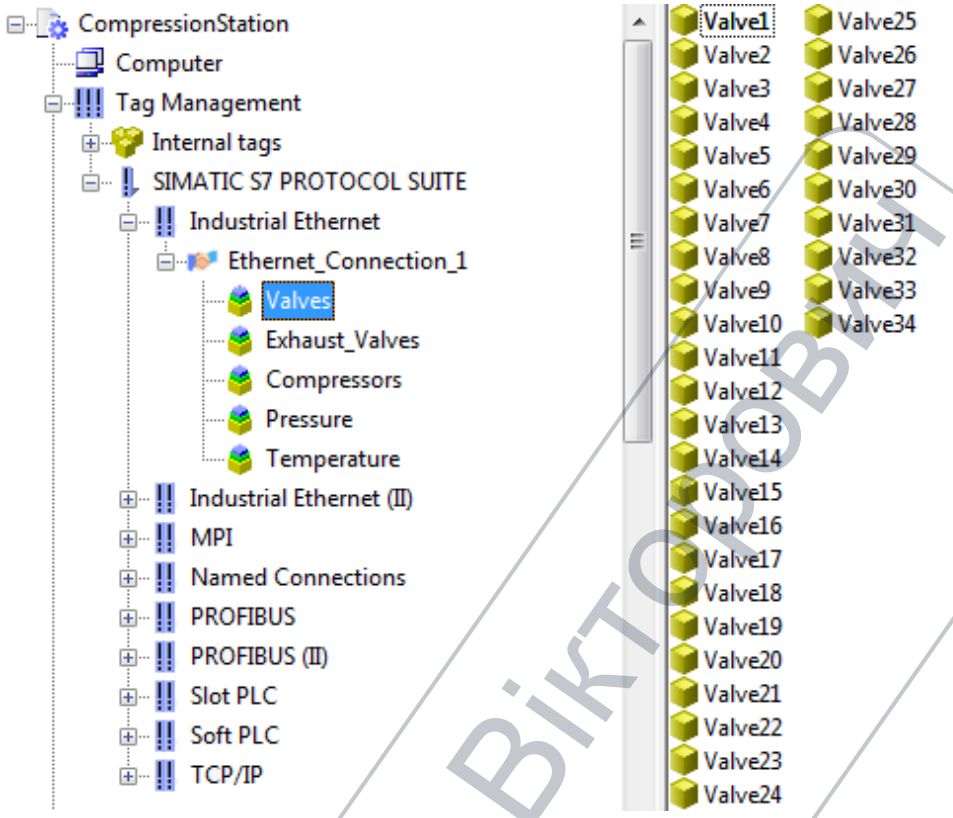


Рисунок 3.20 – Результати створення системи тегів проекту в SCADA WinCC

Для реалізації операторних функцій (відкриття і закриття кранів, запуску і зупинки ГПА, розроблено скрипт для переходу між двома станами).

```
void onOffSwitch(char* lpszObjectName)
{
if (GetTagBit(lpszObjectName) == 0)  SetTagBit(lpszObjectName, 1);
else  SetTagBit(lpszObjectName, 0);
}
```

Для зручного представлення та архівування інформації, а також виведення аварійних повідомлень в налаштуваннях сервера створено список Startup-процесів «Tag Logging Runtime» та «Alarm Logging Runtime», які будуть запускатися при активації проекту.

На рис. 3.21 наведено результати створення підсистеми архівування технологічних параметрів.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

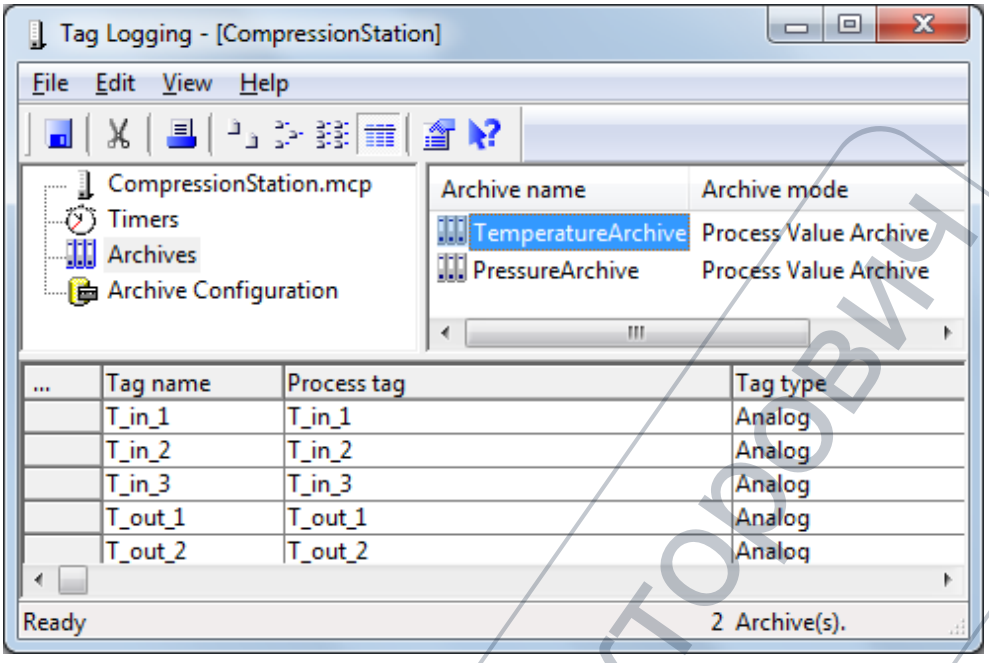


Рисунок 3.21 – Підсистема архівування технологічних параметрів

Крім підсистеми архівування сучасні САК передбачають організацію підсистеми аварійних повідомлень. На рис. 3.22 зображено налаштування блоків повідомлень, а саме системних блоків (дата, час, номер повідомлення, поточний стан, тривалість) та текстових блоків користувача (текст повідомлення, місце помилки).

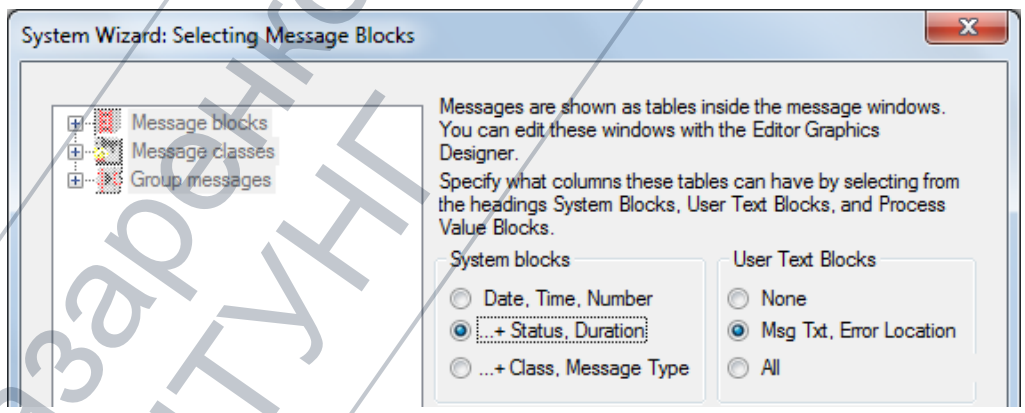


Рисунок 3.22 – Налаштування блоків повідомлень

На рис. 3.23 зображено налаштування класів повідомлень (обрано клас з типами повідомлень «Аварія», «Відмова» та «Попередження»).

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

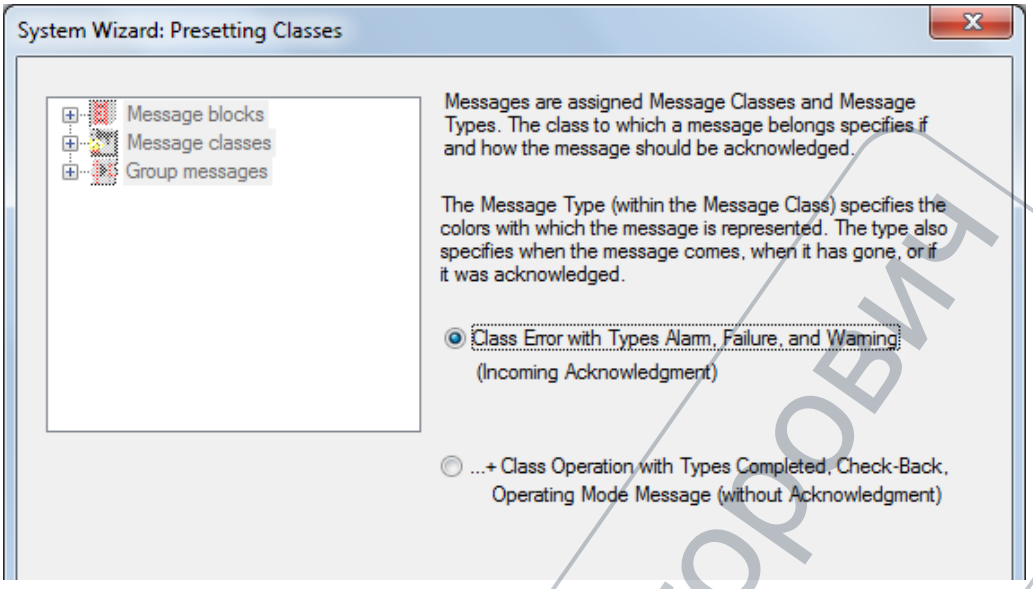
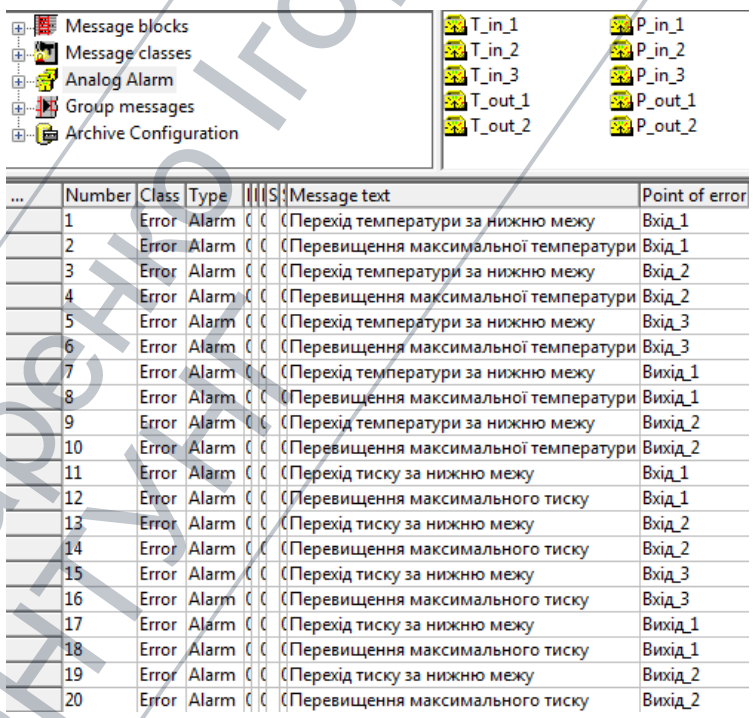


Рисунок 3.23 – Налаштування класів повідомлень

Аналогічно створюються повідомлення і для інших тегів. Таким чином, створена підсистема аварійних повідомлень проекту в SCADA WinCC (рис. 3.24).



...	Number	Class	Type	I	I	S	Message text	Point of error
	1	Error	Alarm	0	0		Перехід температури за нижню межу	Вхід_1
	2	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимальної температури	Вхід_1
	3	Error	Alarm	0	0		Перехід температури за нижню межу	Вхід_2
	4	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимальної температури	Вхід_2
	5	Error	Alarm	0	0		Перехід температури за нижню межу	Вхід_3
	6	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимальної температури	Вхід_3
	7	Error	Alarm	0	0		Перехід температури за нижню межу	Вихід_1
	8	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимальної температури	Вихід_1
	9	Error	Alarm	0	0		Перехід температури за нижню межу	Вихід_2
	10	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимальної температури	Вихід_2
	11	Error	Alarm	0	0		Перехід тиску за нижню межу	Вхід_1
	12	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимального тиску	Вхід_1
	13	Error	Alarm	0	0		Перехід тиску за нижню межу	Вхід_2
	14	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимального тиску	Вхід_2
	15	Error	Alarm	0	0		Перехід тиску за нижню межу	Вхід_3
	16	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимального тиску	Вхід_3
	17	Error	Alarm	0	0		Перехід тиску за нижню межу	Вихід_1
	18	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимального тиску	Вихід_1
	19	Error	Alarm	0	0		Перехід тиску за нижню межу	Вихід_2
	20	Error	Alarm	0	0		Перевищення максимального тиску	Вихід_2

Рисунок 3.24 – Підистема аварійних повідомлень проекту в SCADA WinCC

На рис. 3.25 і 3.26 наведено результати розробки людино-машинного інтерфейсу САК КС на базі SCADA WinCC [99].

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

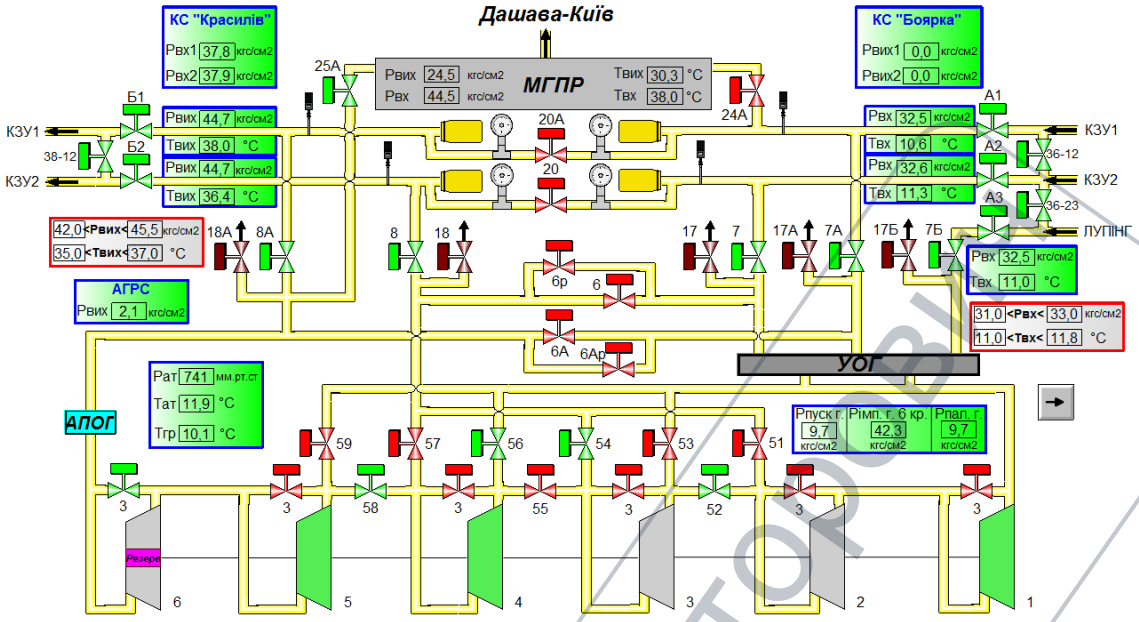
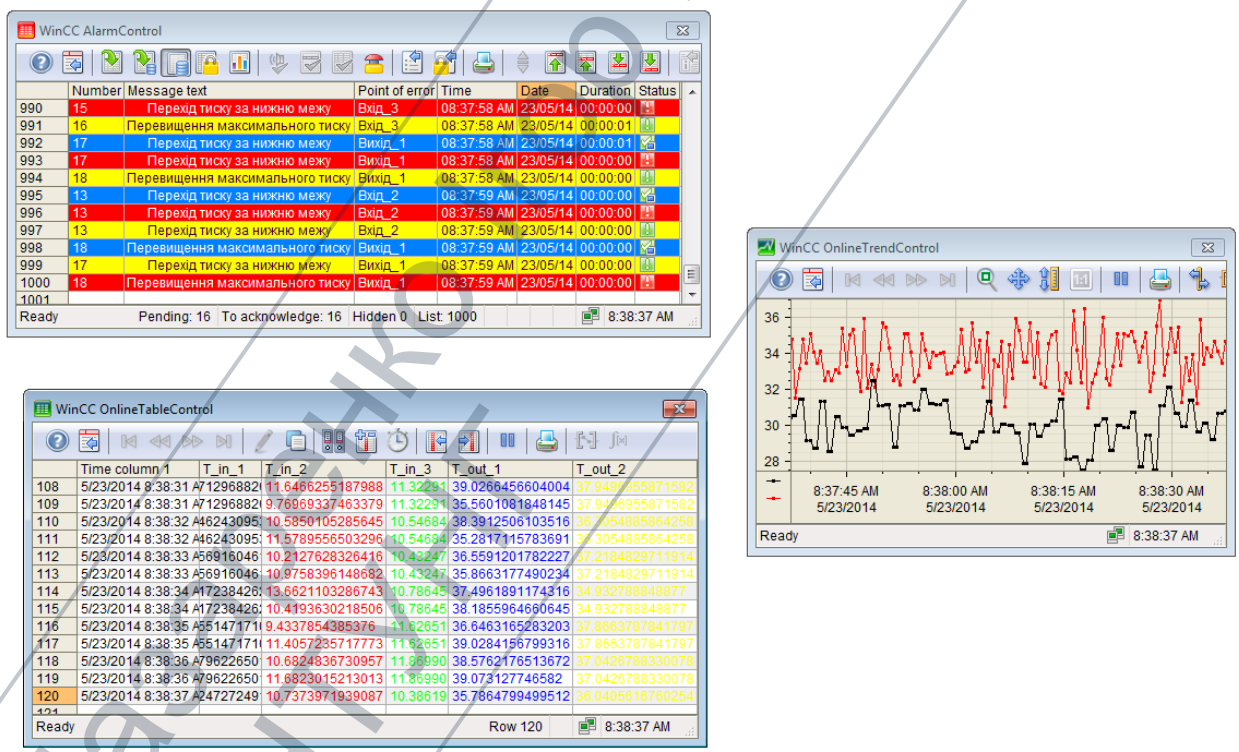


Рисунок 3.25 – Результати розробки людино-машинного інтерфейсу САК КС на базі SCADA WinCC (мнемосхема)



AlarmControl - підистема аварійних повідомлень, OnlineTrendControl і OnlineTableControl - підсистеми графічного і табличного виводу технологічних параметрів відповідно

Рисунок 3.26 – Результати розробки людино-машинного інтерфейсу САК КС на базі SCADA WinCC (вивід даних, архівування і аварійні повідомлення)

Назаренко О.В. ІФНТУНГ

Таким чином, для дослідження режимів і оптимізації роботи основних компонентів технологічного обладнання КС розроблено і апробовано імітаційні моделі, уніфіковані процедури організації OPC-комунікації Simulink-моделей та компоненти людино-машинного інтерфейсу САК КС на базі SCADA WinCC.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Висновки до розділу 3

1. Розроблено імітаційну модель нагнітача ГПА на основі методу групового урахування аргументів. На основі порівняння результатів моделювання і експериментальних даних зроблено висновок про адекватність розробленої моделі і можливості її застосування для дослідження режимів роботи ГПА КЦ.

2. Для контролю технологічних параметрів на аномальність та наявність тренду визначено статистичні критерії на основі методів математичної статистики, інтерполяції та розроблено алгоритмічне забезпечення. Дані алгоритми і моделі можуть застосовуватись разом із алгоритмами і моделями для дослідження режимів роботи САК КС. Розроблені алгоритми дозволять зменшити експлуатаційні втрати за рахунок зменшення вимушених зупинок ГПА.

3. Розроблено імітаційну модель і алгоритмічне забезпечення цехового регулятора для дослідження показників продуктивності нагнітача ГПА, що дозволяє забезпечувати режим максимальної комерційної продуктивності КЦ.

4. Розроблено і апробовано імітаційні моделі, уніфіковані процедури організації OPC-комунікації Simulink-моделей та компоненти людино-машинного інтерфейсу САК КС на базі SCADA WinCC, що забезпечило можливість дослідження режимів роботи КС в режимі реального часу, візуалізувати процеси управління і вести архіви технологічних параметрів.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

РОЗДІЛ 4 АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОБОТИ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ АСК КС

4.1 Виконавчі механізми запірної арматури компресорних станцій, як об'єкт керування

Однією із важливих задач при побудові систем автоматизованого керування КС є задача керування виконавчими механізмами запірної арматури (зокрема кульовими кранами), яка передбачає розробку ефективних алгоритів і засобів керування, постійного контролю кіл керування, захисту і діагностики виконавчих механізмів. Для її вирішення необхідно створити апаратно-програмний комплекс, який дозволяє проводити тестування алгоритмів керування, моделювати режими роботи КС та проводити налагодження апаратно-програмних засобів САК КС на основі уніфікованих технічних засобів і процедур. В табл. 4.1 наведено перелік та нумерацію кранів КС магістральних газопроводів, які підлягають керуванню.

Таблиця 4.1 - Перелік та нумерація кранів КС

Номер крана	Місце установки
1	На всмоктувальному газопроводі ГПА
2	На нагнітаючому газопроводі ГПА
3	На трубопроводі між всмоктувальним і нагнітаючим газопроводами обв’язки нагнітача
3'	На обвідній лінії агрегату між нагнітачем і кранами №1 і №2
4	На обвідній лінії крану №1
5	На свічі, врізаній в нагнітаючий газопровід між нагнітачем і краном №2
6	На пусковому контурі агрегату
7	На вхідних газопроводах КЦ до пилеуловлювачів
8	На вихідних газопроводах КЦ
17	На свічах вхідних газопроводів КЦ
18	На свічах вихідних газопроводів КЦ
20	На магістральному газопроводі між вхідним і вихідним газопроводами КЦ
36	На обвідній лінії компресорної станції

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Повний перелік та нумерація кранів визначається «Правилами технічної експлуатації магістральних газопроводів» [7] і технологічною схемою конкретної компресорної станції.

Серед великого різномаїття електричних, пневматичних, електропневматичних і гідравлічних виконавчих механізмів широкого застосування на об’єктах ГТС набули електропневматичні виконавчі механізми та системи керування ними, враховуючи особливості їх функціонування та експлуатації (територіальна розподіленість магістральних газопроводів, забезпечення високої надійності, розміщення у вибухонебезпечних зонах різних класів, сумісність з протоколами і верхніми рівнями систем автоматизованого керування КС).

Виконавчі механізми запірної арматури КС, як правило, складаються з сервоприводу постійного або змінного струму та джерела живлення (електрика, пневматика, гідравліка, а також підсилювальні елементи). На (рис. 4.1) показано загальний вигляд ВМ типу ЕППУ-4-1 (електропневматичний пристрій управління), який найбільш широко використовується в ГТС і призначений для дистанційного та місцевого (ручного) керування перемиканням прохідних пневмогідроприводних кранів з умовним тиском 1.0-10.0 МПа [100].

Рисунок 4.1 – Виконавчий механізм ЕППУ-4-1 на вузлі підключення КС

Нагорняк Ігор Вікторович

ЕППУ-4-1 містить пневмоклапани, входи яких пов’язані з джерелом робочого середовища під тиском, а виходи - з вихідними каналами пристрою, електромагніти, які механічно пов’язані з пневмоклапанами.

В табл. 4.2 наведено основні технічні характеристики ЕППУ-4-1.

Таблиця 4.2 - Основні технічні характеристики ЕППУ-4-1

Назва параметру	**Опис або значення**
Живлення вузла	стисненим повітрям або природним газом з тиском 1.0-9.0 Мпа
Вихідний сигнал	пневматичний, дискретний, рівний тиску живлення
Кількість пневматичних сигналів на виході	3 (відкриття, закриття, зміщення)
Область застосування	зона класу - 1, 2 (відповідно до ГОСТ 51330.9-99)
Тип захисту	Вибухонепроникна оболонка
Маркування вибухозахисту	1ExdllAT3
Ступінь захисту	IP54 (відповідно до ГОСТ 14254-96)
Сертифікат відповідності	РОСС RU.ГБ04.В00318
Маса	10.8 кг
Габаритні розміри	290x245x240 мм;
Робочий діапазон температур	від - 55 до + 50°С;
Напруга постійного струму керуючого сигналу	24 В та 110 В

Роботи в напрямку розробки систем керування електропневматичними пристроями широко представлена такими фірмами як: «Siemens», «Omal», «Kinetrol», «Yamataki», «Yokogawa», «SMC», «Omron», «Samson», «Mesto Automation», «Festo» та іншими [101].

При всіх своїх перевагах дані технічні засоби та системи управління не завжди є адаптованими до вітчизняних об’єктів та умов експлуатації, а також не можуть бути впроваджені в короткостроковій перспективі (експлуатується значна частина ЕППУ-4-1, а їх заміна потребує зупинки експлуатації окремих об’єктів ГТС).

Таким чином, при розробці методів та способів побудови підсистем керування виконавчими механізмами КС магістральних газопроводів на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів і для забезпечення безперебійної роботи компонентів систем управління технологічним обладнанням необхідно вирішити наступні науково-технічні задачі:

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- розробити математичні та імітаційні моделі систем керування виконавчими механізмами запірної арматури КС;

- розробити, протестувати і дослідити алгоритми керування режимами роботи виконавчих механізмів;

- практично реалізувати уніфіковані апаратно-програмні засоби керування виконавчими механізмами.

4.2 Спосіб неперервного контролю стану електричних кіл керування виконавчого механізму

Відомчі нормативні документи ПАТ «Укртрансгаз» вимагають від систем автоматики реалізації неперервного контролю кіл керування виконавчими механізмами.

В зв’язку з тим, що виконавчі механізми ЕППУ-4-1 розташовуються на відстані від 5-ти метрів до більше ніж 2-х кілометрів від шаф керування, особливо важливим є контроль кіл керування, як під час режиму очікування команди на перестановку крану так і під час керування технологічним об’єктом [102].

Серед трьох станів кіл керування виконавчими механізмами ЕППУ-4-1: «КЗ» – коротке замикання, «Обрив» - пошкодження лінії зв’язку та «Витік на землю», останнє є найбільш критичним, оскільки через відсутність можливості його визначення може скластися наступна ситуація:

стан «КЗ» - ні;

стан «Обрив» - ні;

напруга «обтікання» соленоїду – 24 В.

Під час подання на соленоїд напруги керування 110 В, пристрій керування не спрацьовує, в зв’язку з низьким рівнем напруги керування на соленоїді, за рахунок «витоку на землю».

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Сьогодні в системах управління виконавчими механізмами, найбільш поширене використання пристроїв типу «БУКР» (блок управління краном) або «МУК» (модуль управління краном), які виробляються 2-ма, 3-ма українськими компаніями, незначними партіями та виключно на замовлення. Блок (модуль) управління краном є окремим пристроєм у складі САК (рис. 4.2), має власний контролер, програмне забезпечення та перетворювач напруги з 24 В в 110 В, обмін з іншими елементами САК здійснюється по інтерфейсу RS-485 за протоколом MODBUS. Алгоритм керування краном та контроль кіл керування є власністю виробника, ремонт пристрою можливий лише на базі компанії виробника, що створює певні складнощі під час час експлуатації.

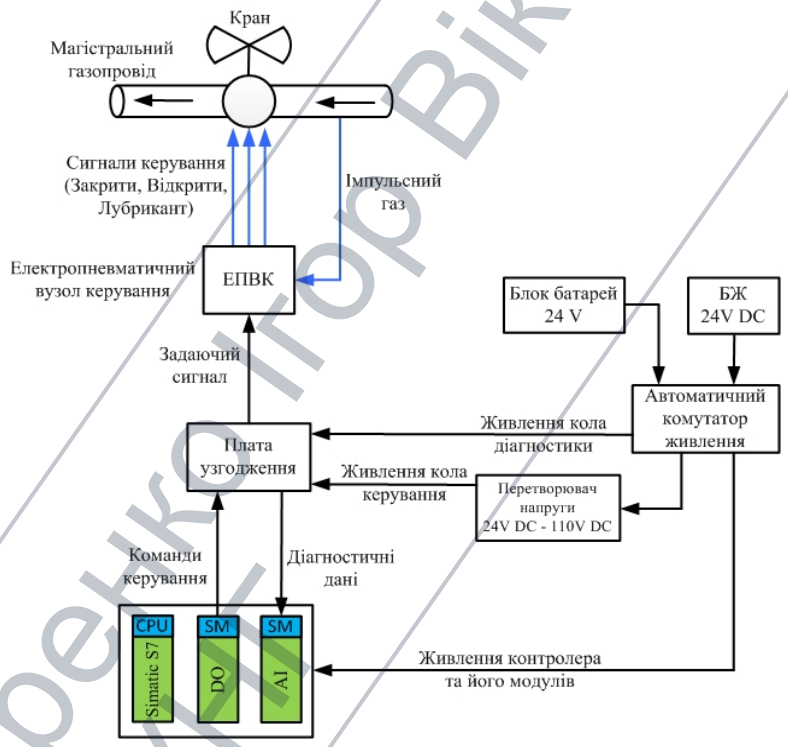


Рисунок 4.2 - Функціональна схема підсистеми керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1 на лінійному крані магістрального газопроводу

Для вирішення вказаних проблем, в роботі реалізовано та апробовано [102] схемотехнічне рішення та алгоритм на уніфікованих серійних компонентах: контролер Simatic S7, модулі дискретного вводу-виводу, модулі аналогового вводу 0-10 В, реле двопозиційне 24 В, джерела живлення 24 В та 110 В, діоди і резистори.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Розроблено і запантентовано спосіб контролю напруги у колах керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1 [103] в режимі очікування команди та під час керування.

З метою відпрацювання алгоритму створено математичну модель керування виконавчим механізмом з контролем кіл керування на базі програмного комплексу «MatLab», а також апаратно-програмний комплекс для дослідження і тестування можливі режими роботи виконавчого механізму [104].

Спосіб надає можливість неперервно визначати поточний стан кіл керування виконавчим механізмом, зокрема, коротке замикання, витік потенціалу не землю, обрив та норма. Також технічне рішення, реалізоване на основі запропонованого способу дає змогу здійснювати контроль електричних кіл керування будь-якого виконавчого пристрою, виконавчим механізмом якого є електрична котушка або соленоїд. Крім того, удосконалено спосіб діагностування стану електричних кіл керування виконавчим механізмом таким чином, щоб спростити загальну конструкцію пристрою, для реалізації даного способу, та підвищити його надійність і довговічність.

Універсальність даного способу полягає в тому, що він дозволяє проводити контроль електричних кіл керування будь-якого виконавчого пристрою, виконавчим механізмом якого є електрична котушка або соленоїд. Конструктивні особливості даного способу дозволяють проводити контроль електричних кіл керування за будь-якої напруги керування виконавчим механізмом.

Експлуатаційні переваги способу полягають в тому, що всі компоненти електричної схеми, яка реалізує даний спосіб, є стандартними та випускаються серійно. Значення параметрів, що вимірюються, приведені до стандартного ряду уніфікованих сигналів.

Спосіб передбачає захист елементів схеми від негативного впливу явищ, що викликані електромагнітною індукцією в моменти зміни режиму роботи виконавчого механізму.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Структурна схема технічного рішення для реалізації даного способу зображена на рис. 4.3.

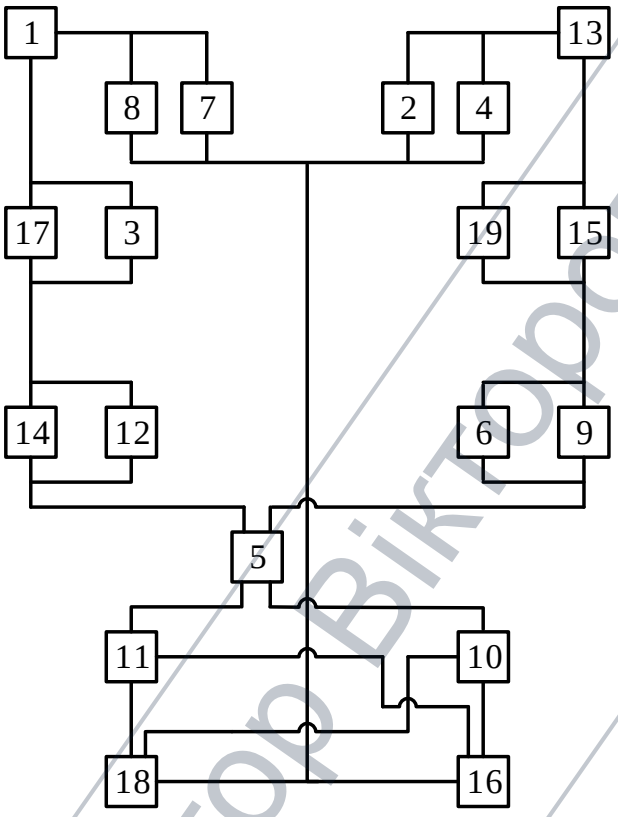


Рисунок 4.3 - Структурна схема неперервного контролю стану електричних кіл керування виконавчого механізму

Структурна схема включає два джерела живлення різної напруги 18 та 16, нормально замкнуті двопозиційні реле 10, 5 та 11, модулі вимірювання напруги 12 та 6, вимірювальні резистори 14 та 9, обмежувачі напруги 17 та 15, кінцеві вимикачі 3 та 19, діоди 1, 13, 4 та 8, соленоїди або електричні котушки 7 та 2.

Схема поділяється на два логічних електричних кола відносно загального проводу джерел живлення («Коло 1» та «Коло 2»).

Спосіб передбачає два режими роботи виконавчого механізму: «Робота» та «Очікування». В режимі «Робота» виконується безпосередньо зміна положення виконавчого механізму. Відповідно в режимі «Очікування» відсутні як команда на зміну положення так і сама зміна положення виконавчого механізму.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

В режимі «Очікування» обидва логічних кола живляться струмом з джерела живлення меншої напруги. Виходячи зі значень падіння напруги на резисторах 14 та 9, виміряного модулями вимірювання напруги 12 та 6 відповідно, робиться висновок про стан електричних кіл керування виконавчим механізмом. Зміна положення кінцевих вимикачів впливає на падіння напруги на резисторах 14 та 9. Це дає змогу зробити висновок про положення об‘єкту керування. Діоди 4 та 8 підключаються в оберненому напрямку та захищають елементи схеми від негативного впливу явищ електромагнітної індукції. В свою чергу діоди 1 та 13 підключені в прямому напрямку та запобігають перетіканню струму між «Колом 1» та «Колом 2».

В режимі «Робота» перемикаються реле 11 або 10 і відповідне електричне коло живиться від джерела живлення більшої напруги 16, напруга якого відповідає напрузі керування виконавчого механізму. Поява більшої напруги на соленоїді відповідного електричного кола включає його в роботу, що викликає зміну положення об‘єкту керування. Двопозиційне реле 5 призначене для підвищення надійності функціонування та більшої уніфікації технічного рішення.

Кількість вимірювань значення падіння напруги на резисторах 14 та 9 за одиницю часу визначається характеристиками модулів вимірювання напруги.

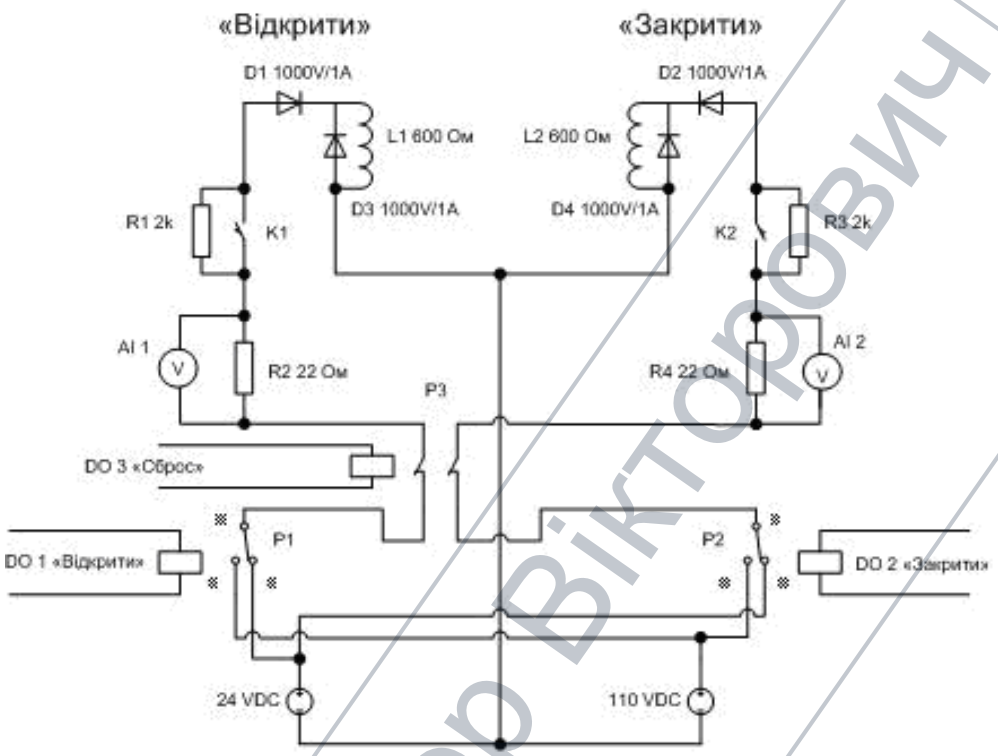
Номінальні параметри елементів схеми обираються у відповідності до типу і характеристик виконавчих механізмів та модулів вимірювання.

В роботі [105] запропоновано технічне рішення (рис. 4.4) та алгоритм управління.

Трипровідна схема керування краном складається з двох симетричних кіл «Відкриття» і «Закриття». Реле «Р3» використовується для скидання команди керування шляхом розривання обох кіл.

У режимі чергування через реле «Р1» та «Р2» напруга 24 В подається на обидва соленоїди через резистори «R1-R4». Напруга на «R2» і «R4» вимірюється через аналогові входи «AI1» та «AI2» – модуля аналогового вводу.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ



L1, L2 – соленоїди (елемент ЕППУ-4-1); K1, K2 – кінцеві вимикачі; D1, D2, D3, D4 – діоди; R1, R3 – резистори; R2, R4 – шунти; P1, P2 - двопозиційні реле; P3 – реле 24 VDC – джерело живлення постійного струму 24 В 110 VDC – джерело живлення постійного струму 110 В AI1, AI2 – модуль аналогового вводу 0-10 В; DO1, DO2, DO3 – модулі дискретного виводу

Рисунок 4.4 – Функціональна схема компонентів системи управління виконавчим механізмом ЕППУ-4-1

Під час подання команди «Відкрити» з виходу «DO1» модуля дискретних виводів подається команда на котушку реле «P1». Таким чином на соленоїд «L1» подається напруга 110 В - кран відкривається. Закриття крану відбувається за аналогічним алгоритмом, але через інше коло.

Діоди «D1-D4» використовуються для розв’язки кіл керування та джерел живлення з різною напругою, а також для запобігання негативних явищ спричинених електромагнітною індукцією.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

4.3 Алгоритмічне забезпечення керування виконавчими механізмами на технологічних об’єктах КС

При побудові Simulink-моделі необхідно створити «Chart» з назвою, наприклад «Valve_logic» для реалізації процедур керування основними блоками «Kran» та «Controller». В подальшому в якості середовища моделювання та симуляції комбінаторної та послідовної логіки прийняття рішень на основі графів застосовується програмний засіб «StateFlow» (компонент «MatLab»).

Даний інструментарій дозволяє використовуючи уніфіковані процедури - створювати «підсистеми» - «Create Subsystem from Selection» (рис. 4.5).

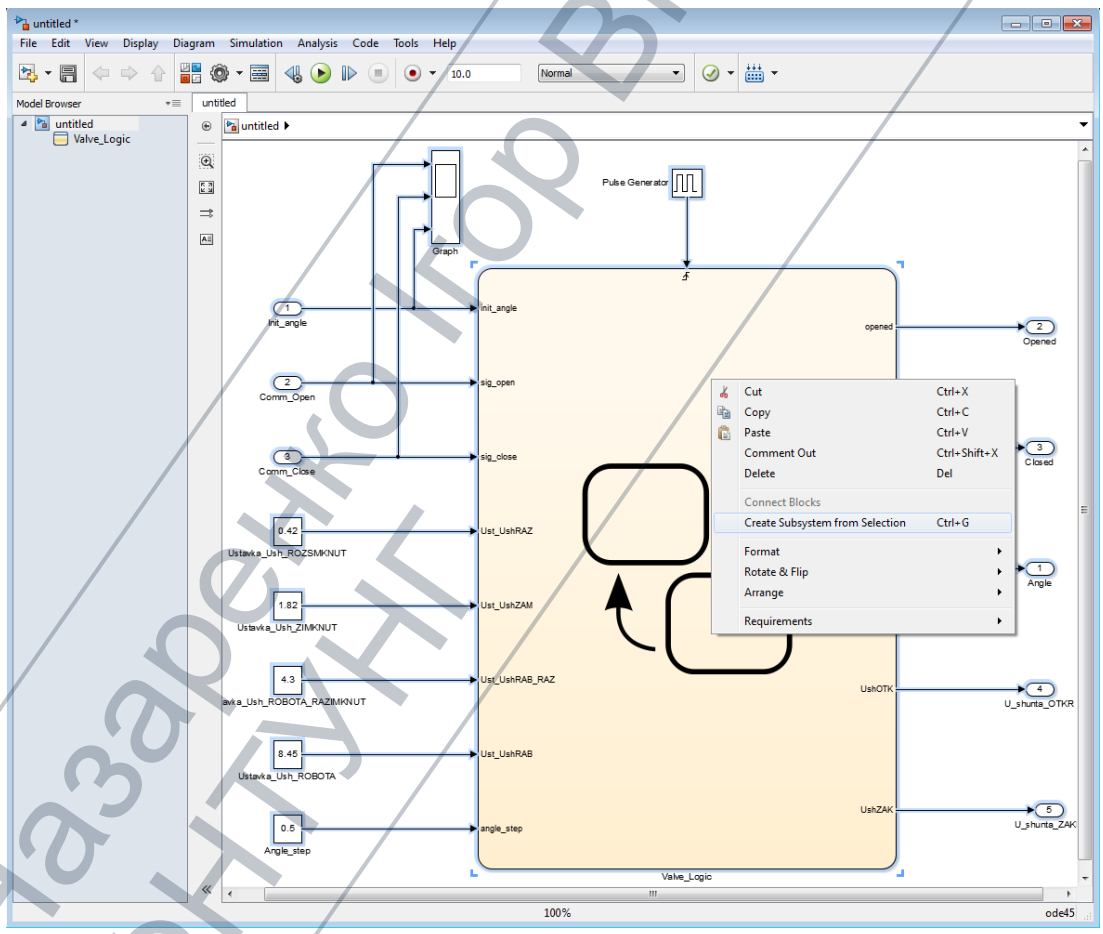


Рисунок 4.5 – Процедура створення структури «підсистеми» «Kran»

«Підсистеми» дозволяють реалізовувати ієрархічні моделі, що включають багато шарів. «Підсистема» є блоком, що включає набір блоків

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

(при ускладненнні моделей їх можна спрощувати шляхом групування відповідних блоків у «підсистеми»). Тому при роботі з «підсистемами» забезпечується наступне:

- створюється ієрархічна структура системи;
- групуються функціонально пов’язані блоки;
- забезпечується зручність роботи з імітаційними моделями.

Кількість «підсистем» в імітаційній моделі не обмежена, крім того «підсистеми» можуть включати в себе інші «підсистеми». Рівень вкладеності «підсистем» також не обмежений.

Алгоритм керування краном (рис. 4.6) передбачає наступні вхідні сигнали:

- «START» - подаються вхідні сигнали за допомогою яких кран встановлюється в положення «OPENED» або «CLOSED»;
- значення початкового кута повороту «Angle».

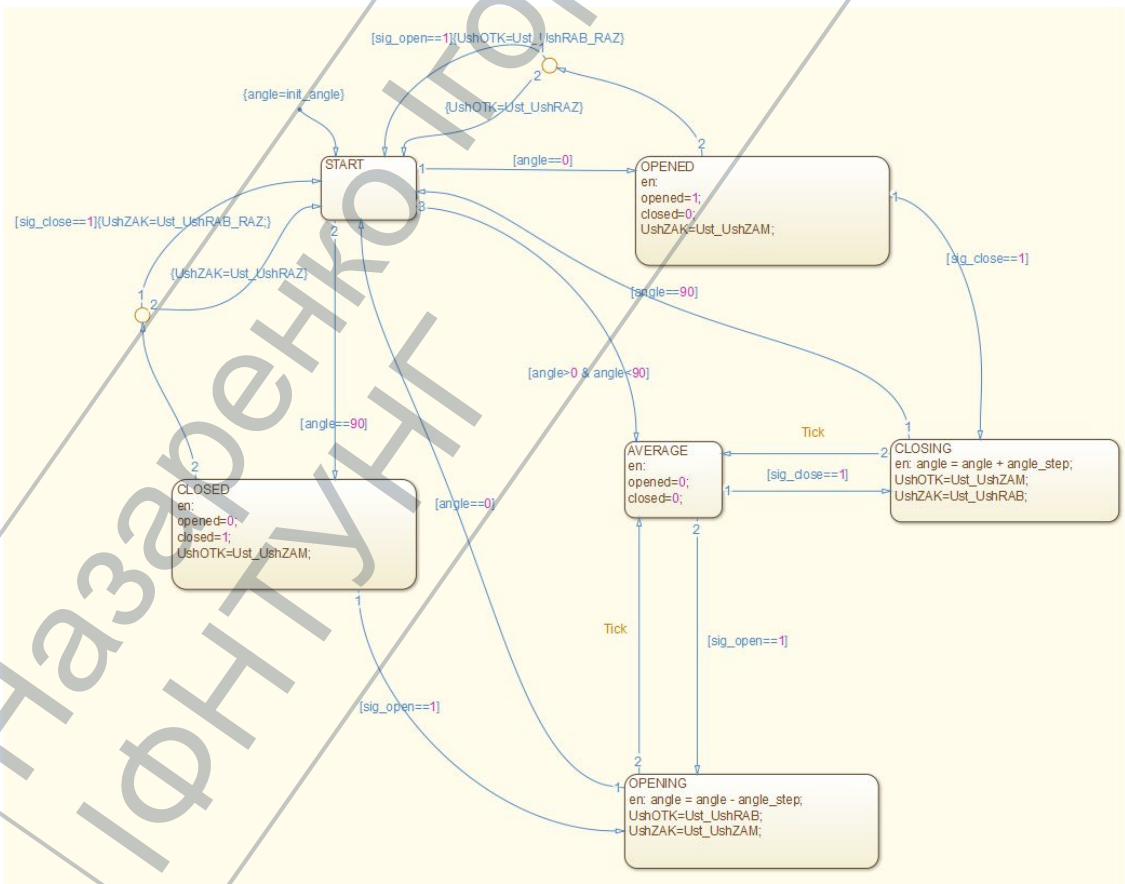


Рисунок 4.6 - Внутрішня структура програмного блоку «Kran»

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Аналогічним чином розроблено систему та «підсистему» для керування контролером крана. Структура програмного блоку «Controller» зображено на рис. 4.7.

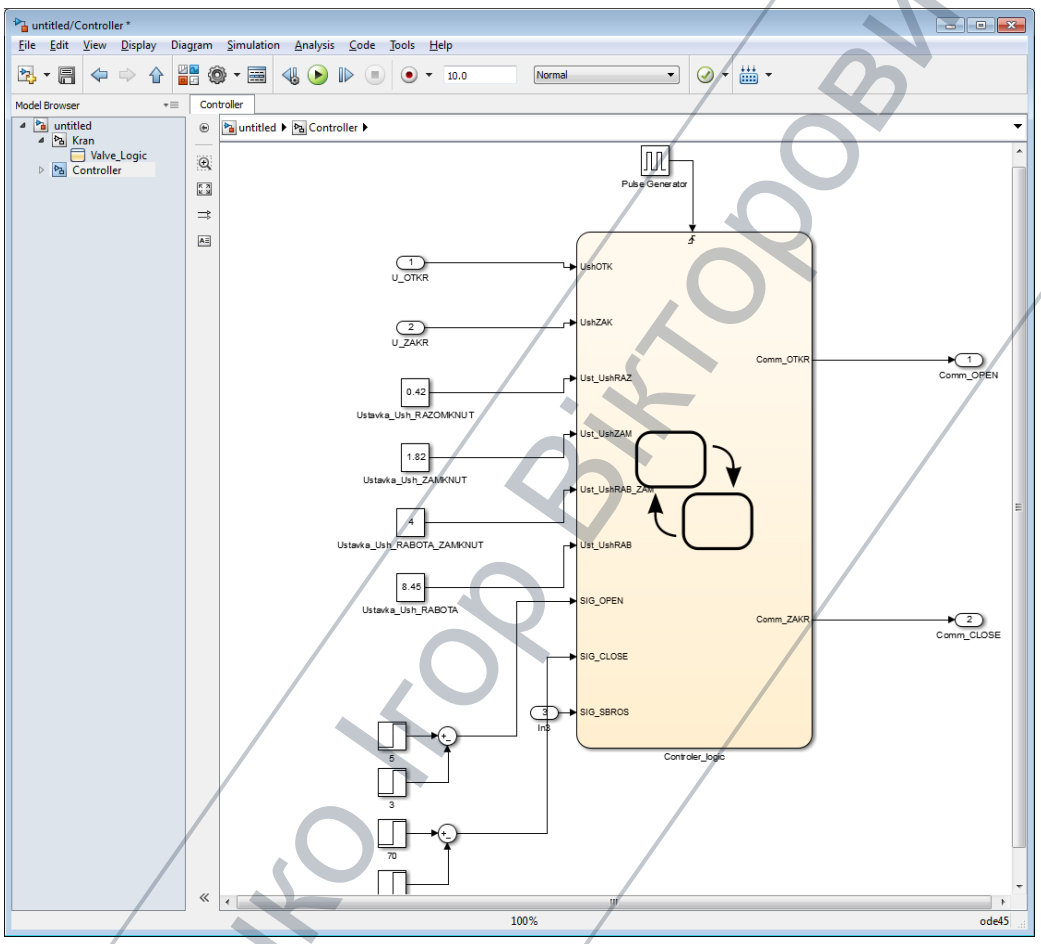


Рисунок 4.7 - Структура програмного блоку «Controller»

Після створення двох «підсистем», на вхід «Init_angle» (див. рис. 4.5), подається константа (90 кут. град.). З'єднуються входи «Comm_OPEN» та «Comm_CLOSE» на «підсистемах» «Kran» і «Contrller» за допомогою блоку пам'яті, який, в свою чергу, приймає та видає одинакові неперервні сигнали. Виходи блоку «Kran» «U_shunta_OTKR» та «U_shunta_ZAKR» повинні з'єднуватись з входами блоку «Controller» «U_OTKR», «U_ZAKR» відповідно за допомого сумматора.

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

Імітаційна модель контролера керування імітує роботу апаратних засобів, які виконують функції контролю, діагностики та керування краном (рис. 4.8). Контролер керування включає два вихідних дискретних сигнали команд «Open» та «Closed» і два аналогових входи величин падіння напруги на шунтах «U_sh_otkr» та «U_sh_zakr».

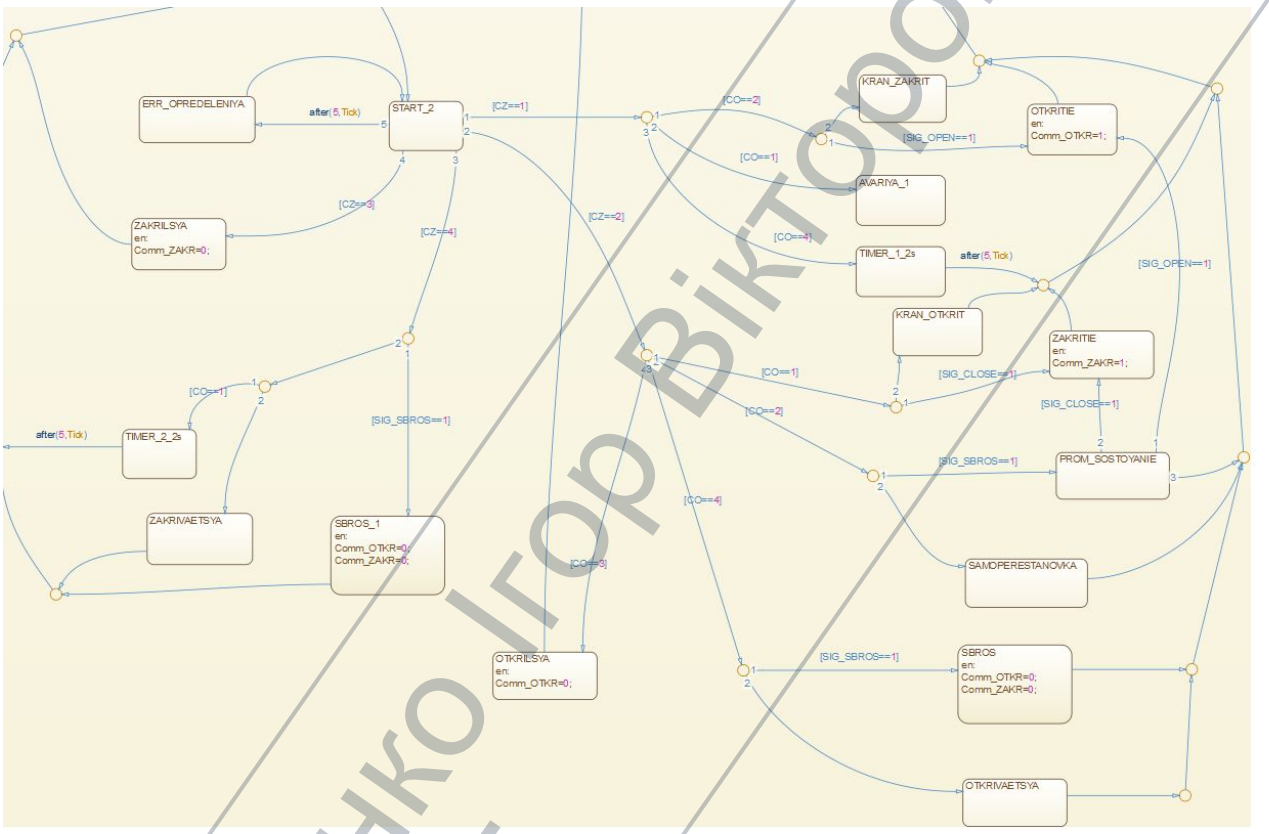


Рисунок 4.8 - Фрагмент внутрішньої структури програмного блоку «Controller»

На рис. 4.9 зображена розроблена імітаційна модель системи керування виконавчим механізмом, яка реалізована за допомогою програмного комплексу «MatLab» Simulink [42]. Імітаційна модель складається з трьох основних компонентів:

- модель крану «Kran»;
- модель контролера «Controller»;
- набору елементів для моделювання зовнішніх впливів «E1», «E2».

Назаренко Ігор Вікторович ДНТУНГ

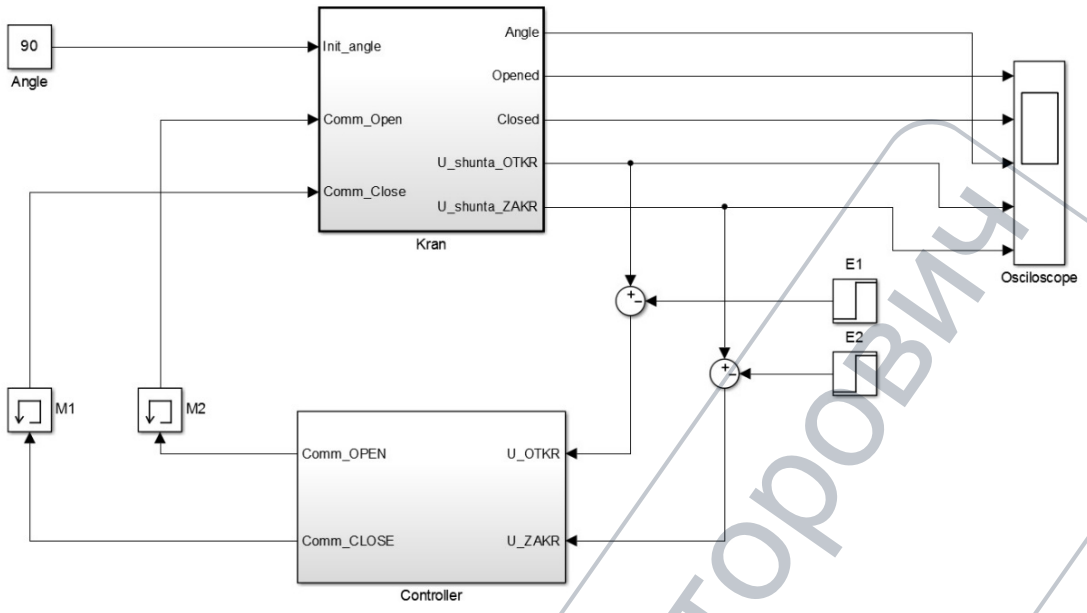


Рисунок 4.9 – Імітаційна модель системи керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1

Модель крану має три входи (команди «Comm_Open» - «Відкрити», «Comm_Close» - «Закрити» і «Init_angle» - «Значення початкового кута повороту крану»). Імітаційна модель має п’ять виходів (дискретні виходи станів «Opened» - «Відкрито» і «Closed» - «Закрито», які відображають стан кінцевих вимикачів крану, «U_shunta_OTKR» і «U_shunta_ZAKR» - «аналогові сигнали величини падіння напруги на шунтах відкривання та закривання», а також «Angle» - «поточний кут повороту крану відносно нульового положення».

Імітаційна модель контролера керування системою моделює фізичне обладнання [105], яке виконує функції контролю, діагностики та керування краном. Основний алгоритм керування реалізований саме в даній моделі. Контролер включає два вихідних дискретних сигнали команд «Відкрити» та «Закрити» і два аналогових входи величин падіння напруги на шунтах закривання та відкривання.

Набір елементів для моделювання зовнішніх впливів є набором засобів для керованого спотворення сигналів між контролером та краном для моделювання таких явищ, як наприклад «коротке замикання» або «витік потенціалу на землю».

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

На рис. 4.10 зображено зміну стану кінцевих вимикачів «Закрито» і «Відкрито», кут повороту крану відносно нульового положення та величини падіння напруги на шунтах відкривання та закривання відповідно.

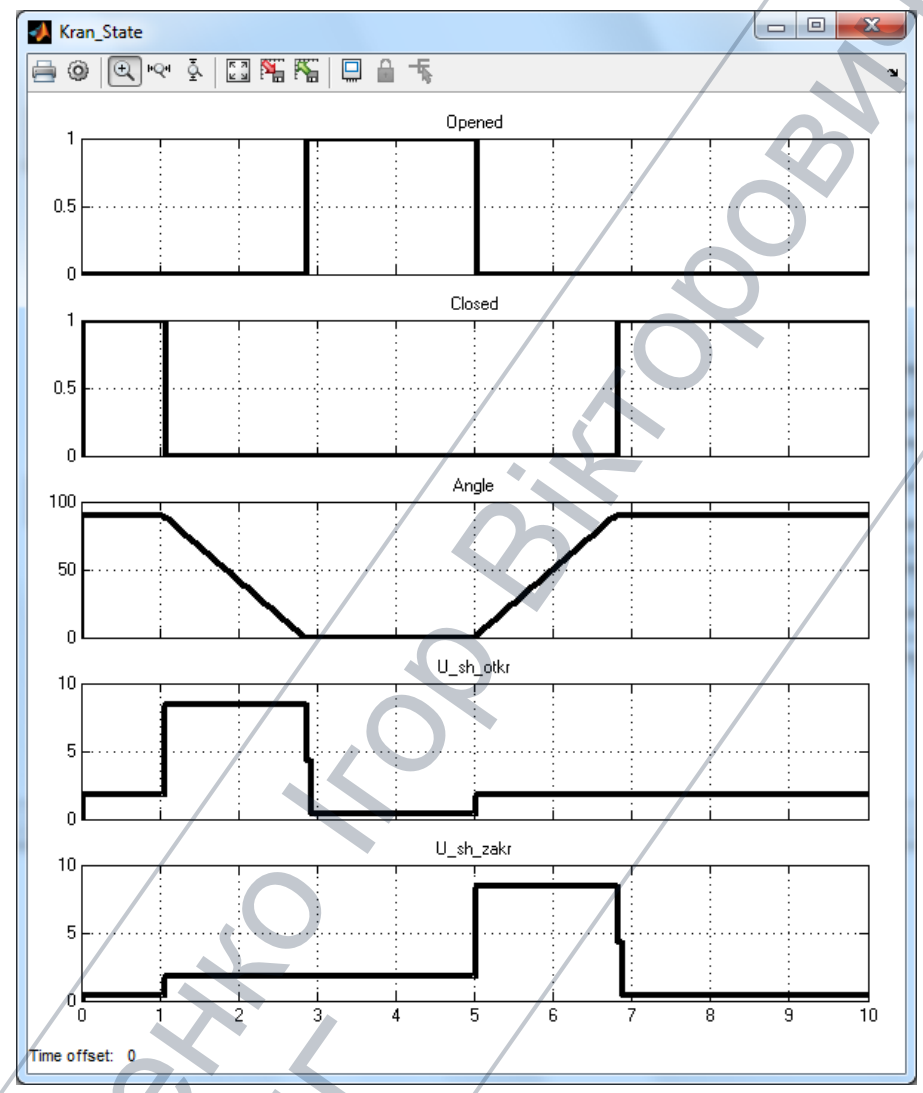


Рисунок 4.10 - Графіки залежностей зміни параметрів на виходах («Opened», «Closed», «Angle», «U_sh_otkr», «U_sh_zakr») імітаційної моделі крану в часі «Time of offset»

На рис. 4.11 наведено залежності зміни вхідних параметрів імітаційної моделі крану в часі (сигнали «SIG_Open» - «Відкрити», «SIG_Close» - «Закрити», а також «START_Angle» - «початковий кут установки крану» відповідно).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

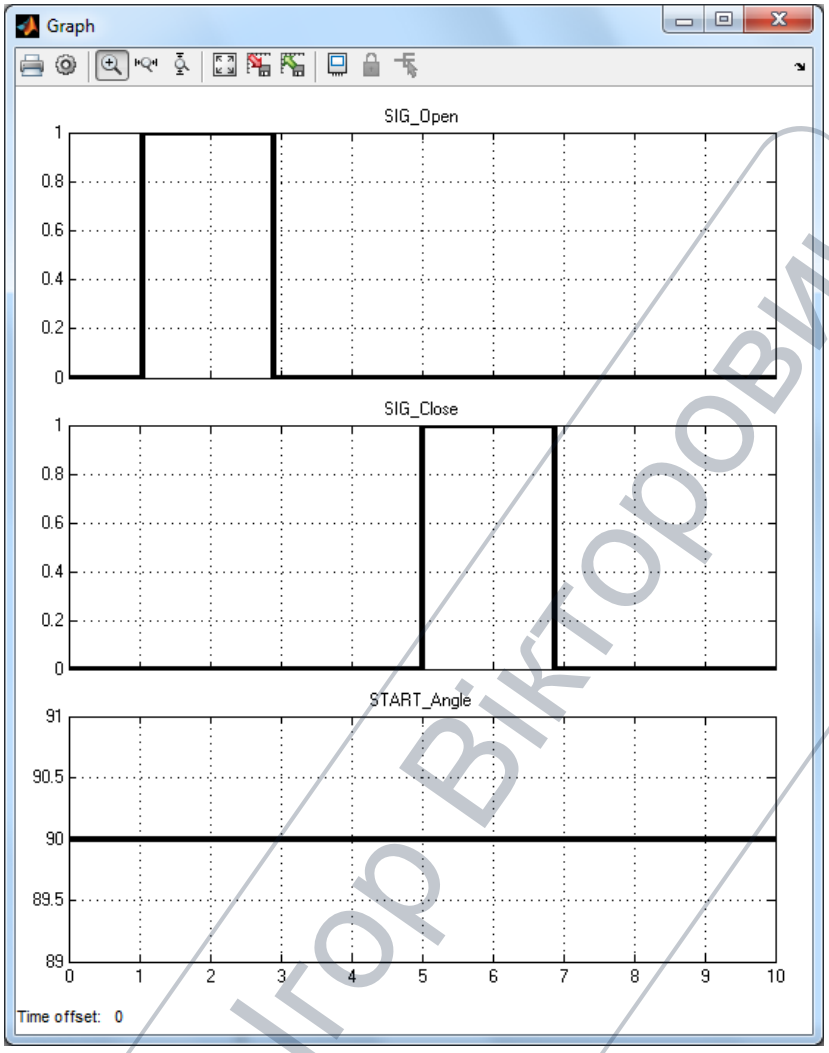


Рисунок 4.11 - Графіки залежностей зміни вхідних параметрів («Open», «Close», «START_Angle») імітаційної моделі крану від часу «Time of offset»

Загалом, модель імітує всі проміжні та кінцеві положення крану в залежності від початкових умов і відповідні значення вихідних сигналів для кожного з заданих положень. В результаті імітації зовнішніх впливів, моделюються явища «витоку потенціалу» на землю, «короткого замикання», «обриву кіл керування» та інших електричних явищ. Однією з функціональних можливостей розробленої імітаційної моделі є режим моделювання «самоперестановки крану». Крім того, в моделі враховано часову складову в процесі роботи крану (кран змінює положення поступово).

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

На рис. 4.12 наведено фрагмент алгоритму керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1 з постійним контролем кіл керування. Весь алгоритм наведений в додатку Д.

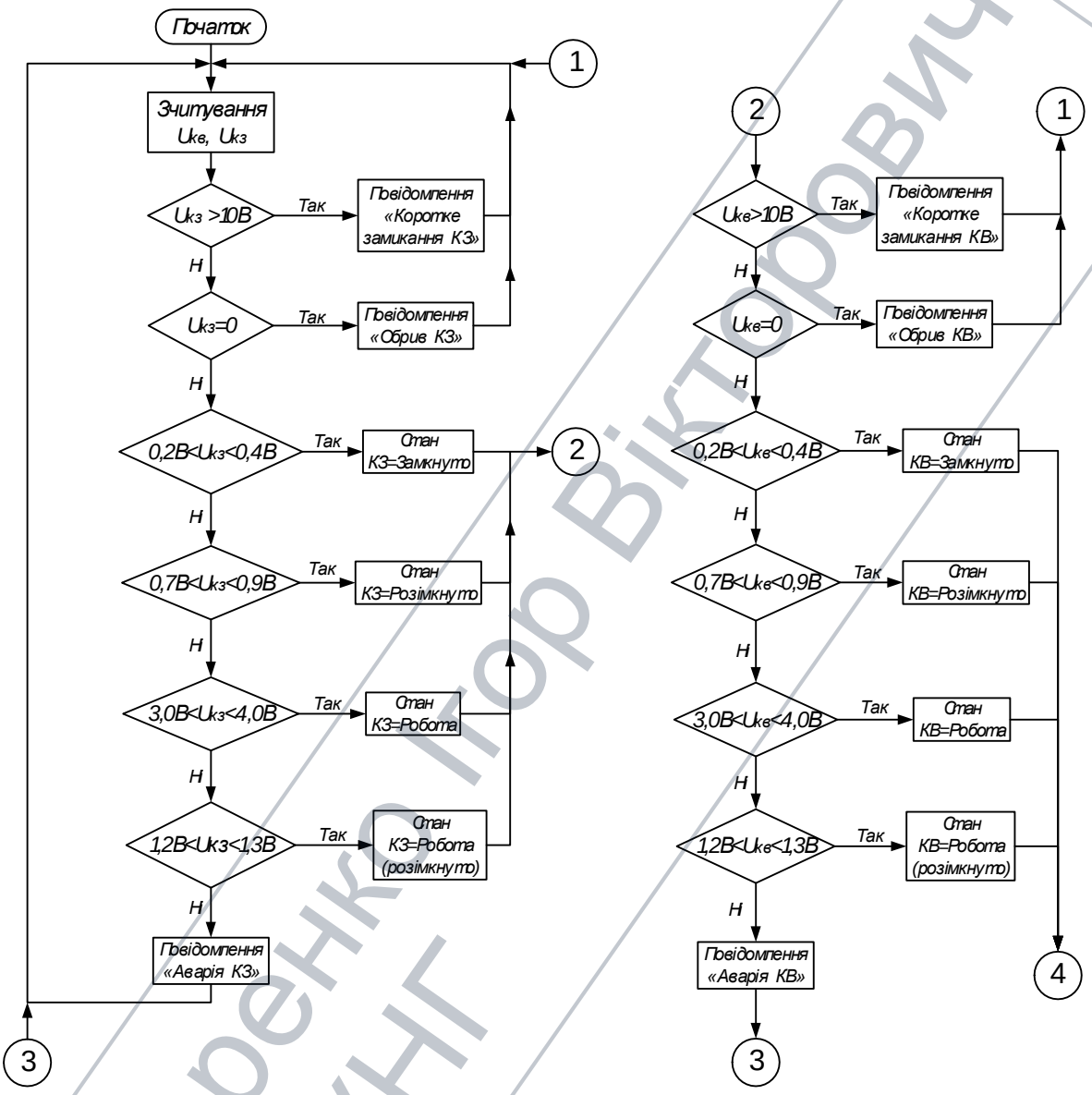


Рисунок 4.12 – Фрагмент алгоритму керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1 з постійним контролем кіл керування

На початку виконання алгоритму виконується перевірка значень «$U_{кз}$» – напруга кола закриття та «$U_{кв}$» – напруга кола відкриття. Одержані значення порівнюються із заданими значеннями. Відпрацьовуються такі режими управління:

- при «$U_{кз}$» > 10 В – формується повідомлення «Коротке замикання КЗ»;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- при «$U_{кз}$» = 0 В – формується повідомлення «Обрив КЗ»;

- при «$U_{кз}$» більше за 0.2 В та нижче за 0.4 В - встановлюється значення «КЗ = Замкнуто»;

- при «$U_{кз}$» більше за 0.7 В та нижче за 0.9 В - встановлюється значення «КЗ = Розімкнуто»;

- при «$U_{кз}$» більше за 3.0 В та нижче за 4.0 В - встановлюється значення «КЗ = Робота»;

- при «$U_{кз}$» більше за 1,2В та нижче за 1.3 В - встановлюється значення «КЗ = Робота/РАЗ»;

- при «$U_{кз}$» не відповідає жодному з вище перелічених значень – формується повідомлення «Аварія КЗ».

Аналогічно проводиться перевірка «$U_{кв}$». Далі виконується перевірка кола закриття на коротке замикання та обрив.

Наступний блок алгоритму - визначення поточного стану крану (проводиться аналіз та порівняння значення змінних «КЗ» та «КВ»). В залежності він комбінації значень змінних «КЗ» та «КВ» визначається поточний стан крану:

- «Кран закритий»;

- «Кран відкритий»;

- «Кран відкривається»;

- «Кран закривається».

Останні два повідомлення формуються за умови, якщо відповідно «КВ = Робота» або «КЗ = Работа» (при цьому, якщо за 180 с (паспортний час на перестановку крану ДУ1420 мм) не спрацює відповідний кінцевий вимикач, формується повідомлення «Аварія крану», система очікує на команду «Сброс»).

Якщо сформовано повідомлення «Кран закритий» - система перевіряє стан «$DO_{відкр}$» (за умови «$DO_{відкр}$=1) після затримки 2 с (час на відхід крану від кінцевого вимикача), починається перестановка крана на протязі 180 с). Після того, як кран виконає перестановку - спрацює кінцевий вимикач або закінчиться 180 с і буде відпрацьовано команду «Сброс» і алгоритм

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

повернеться до контролю кіл керування. Аналогічно працює блок алгоритму після повідомлення «Кран відкритий».

Алгоритм працює циклічно за винятком ситуації, що призводить до повідомлення «Аварія крану».

Основною перевагою вищевказаного методу побудови моделей є можливість перевірки на сумісність, налаштування та генерування SCL-коду за допомогою середовища «MatLab», який необхідний для подальшої автоматичної генерації программного коду для аппаратного PLC Simatic S7 реальної системи керування виконавчими механізмами на КС [76, 105].

4.4 Імітаційне моделювання і тестування режимів роботи виконавчих механізмів КС

Для імітації, тестування та дослідження режимів роботи виконавчого механізму ЕППУ-4-1 створено апаратно-програмний комплекс (рис. 4.13) на базі обладнання Simatic S7-300, що дозволило провести стендові випробування та апробацію розроблених моделей та алгоритмів керування.

Створений апаратно-програмний комплекс може бути корисний для дослідження і відпрацювання режимів виконавчих механізмів інших типів, що експлуатуються на підприємствах газотранспортної галузі.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Рисунок 4.13 - Апаратно-програмний комплекс для імітації та дослідження режимів роботи виконавчого механізму ЕППУ-4-1

Назаренко Віктор Вікторович ІФНТУНГ

Для інтеграції розроблених моделей та алгоритмів в апаратні засоби на базі PLC Simatic S7 удосконалено метод на основі інструменту «PLC Coder» для перетворення блоку «підсистеми» в SCL-код (Structured Control Language) [106].

Нижче наведено результати виконання уніфікованої процедури генерування программного коду PLC Simatic S7 з SCL-коду (Insert New Object → SCL Source) (рис. 4.14).

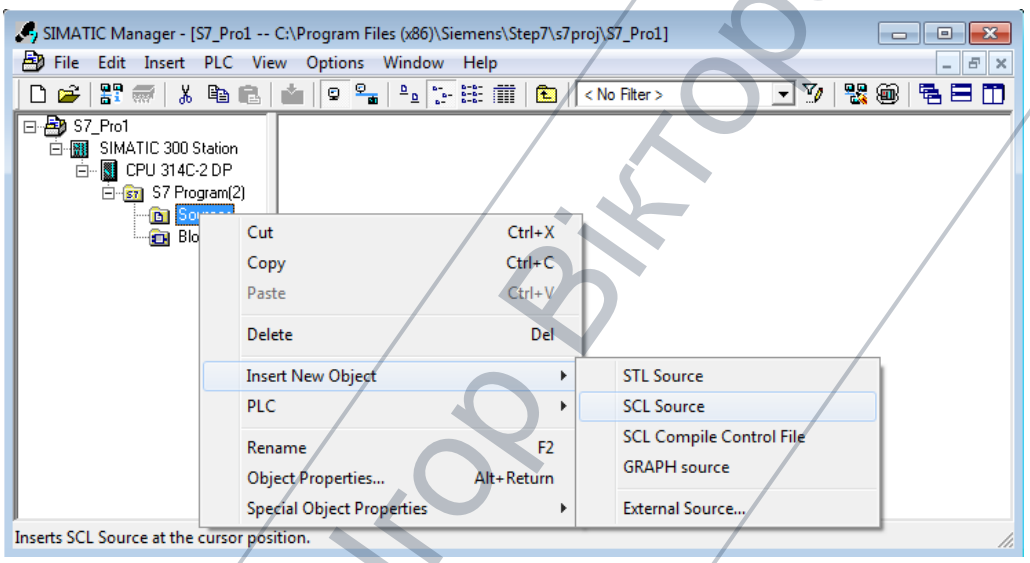


Рисунок 4.14 – Встановлення нового джерела коду SCL-Source

На рис. 4.15 зображено процедуру створення джерела коду SCL-Source.

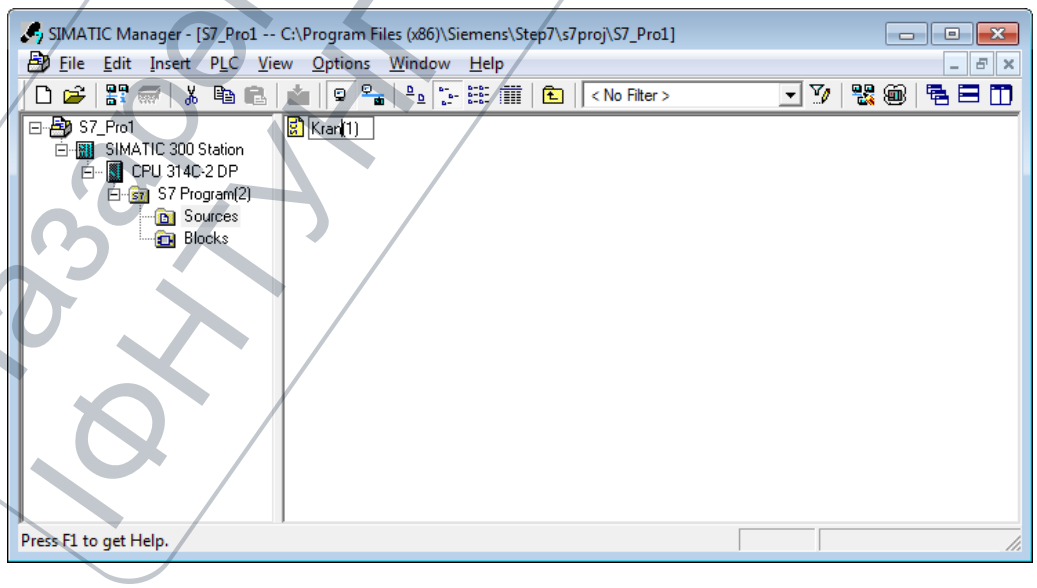


Рисунок 4.15 – Процедура створення джерела коду SCL-Source

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Після активації SCL Source(1) виводиться редактор SCL, куди поміщається згенерований код, після чого відбувається компіляція (рис. 4.16) і генерування коду PLC Simatic S7 з виводом повідомлень і попереджень про помилки у вигляді функціонального блоку на мові FBD (Functional Block Diagramm).

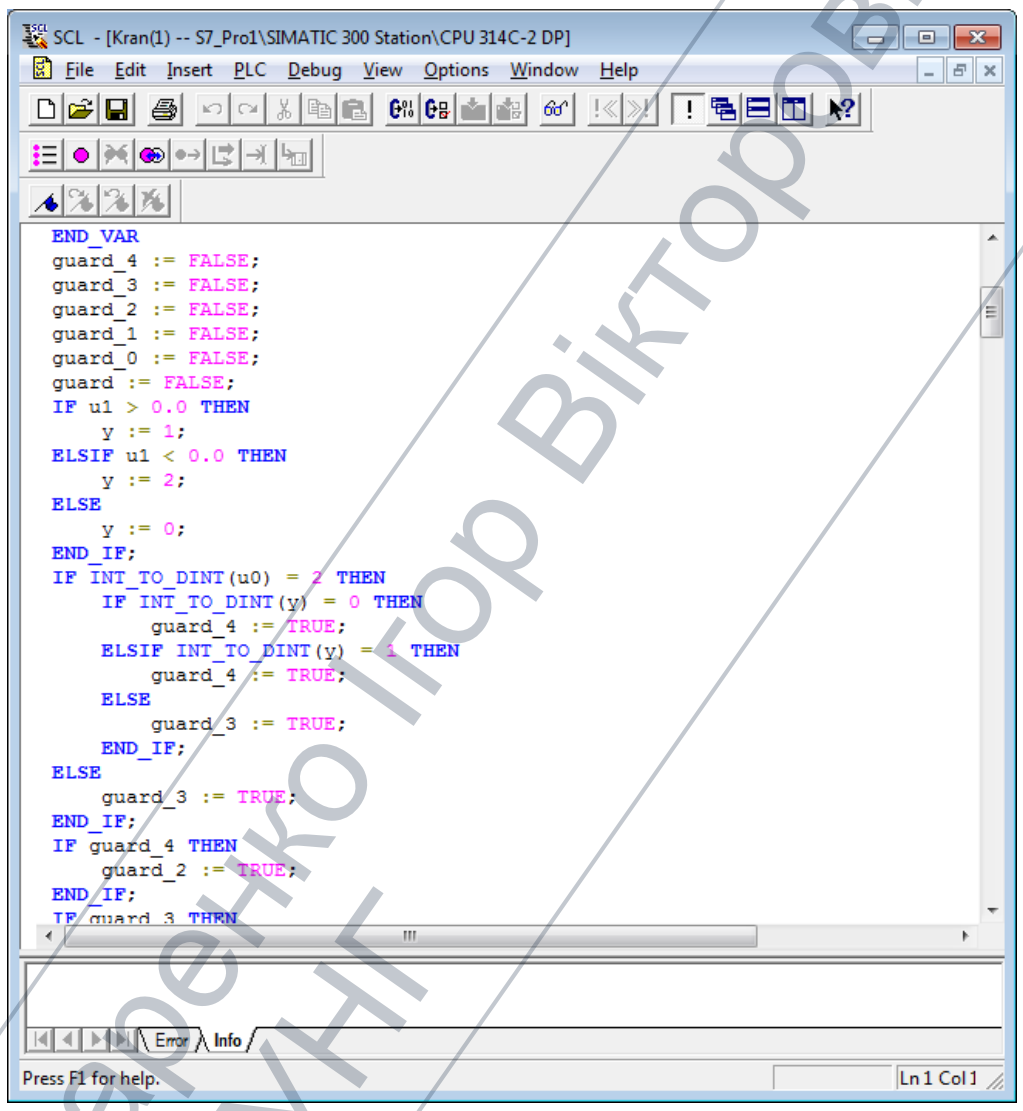


Рисунок 4.16 – Процедура компіляції коду в редакторі SCL

Мова програмування SCL спрощує процес компіляції декількох вихідних файлів, які повинні виконуватися разом, але в певному порядку [102].

На рис. 4.17 зображено папка «Blocks» дерева проекту, де знаходяться організаційний блок OB1 та згенеровані функціональні блоки FB1, FB2, B3, FB4.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

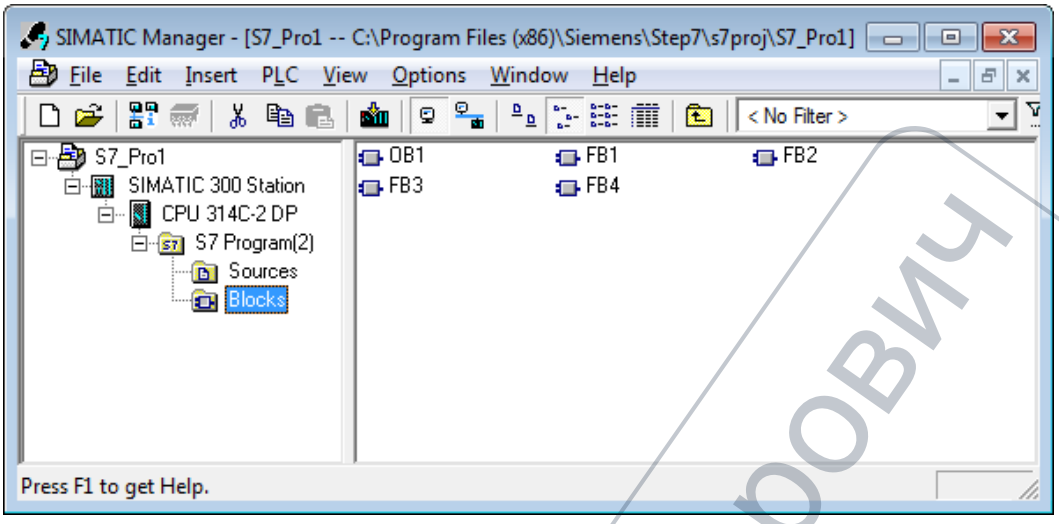


Рисунок 4.17 – Згенеровані функціональні блоки FB1, FB2, FB3, FB4 для PLC

Таким чином апробовано уніфіковані процедури для автоматичної генерації программного коду для аппаратного PLC Simatic S7.

На рис. 4.18 зображено встановлення згенерованого блоку FB2 в організаційний блок OB1 основної програми PLC.

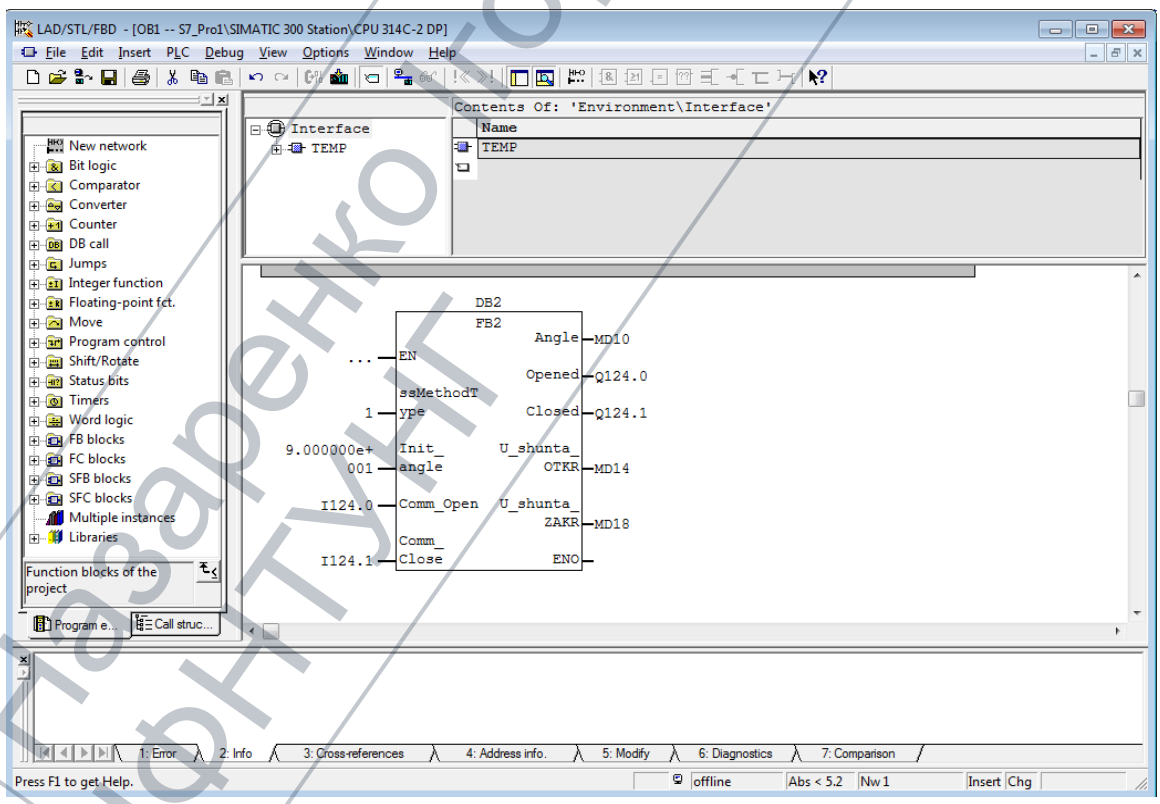


Рисунок 4.18 – Встановлення згенерованого блоку FB2 в організаційний блок OB1 основної програми PLC (функціональний блок керування «Kran»)

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Вбудований в базове інструментальне програмне забезпечення симулятор S7-PLCSIM дозволяє виконати і протестувати без використання реальних технічних засобів автоматизації вищевказані функціональні блоки.

Пакет S7-PLCSIM дозволяє одночасно симулювати роботу систем автоматизації з декількома контролерами SIMATIC S7-300/S-400 з децентралізованою периферією на промислових шинах Profibus-DP та Industrial Ethernet [107] і забезпечує:

- можливість запуску і одночасного використання декількох екземплярів симулятора PLCSIM;

- підтримку комунікації між центральними процесорами (екземплярами PLCSIM);

- оптимізує комунікації між S7-PLCSIM і SCADA-системами WinCC/WinCC flexible;

- виводить всі процеси на інтерфейс розробника в режимі «on-line».

Далі слід ввести вхідну та вихідну змінну для перевірки результатів виконання функції (рис. 4.19).

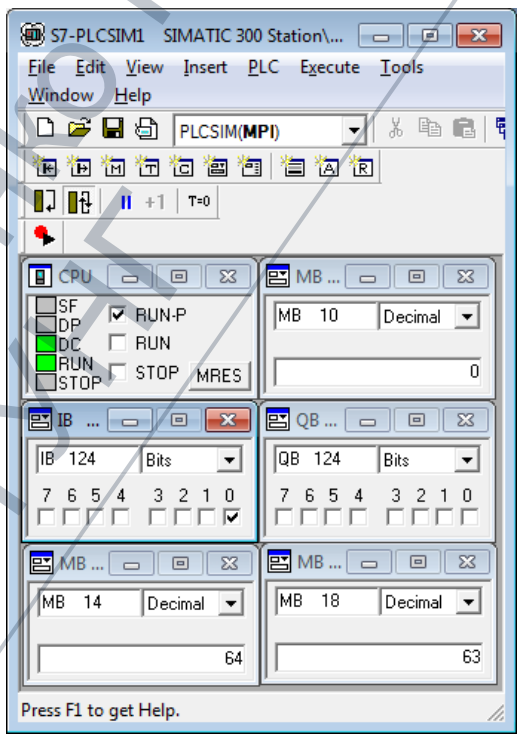


Рисунок 4.19 – Перевірка виконання функції

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Для перевірки правильності виконання функції модуль центрального процесора переводиться в режим RUN-P, після чого задається числове значення вхідній змінній. Відповідне значення функції буде відображатися у вихідній змінній.

Перевірку можна здійснювати не лише на рівні змінних, а й на рівні програмних блоків (рис. 4.20).

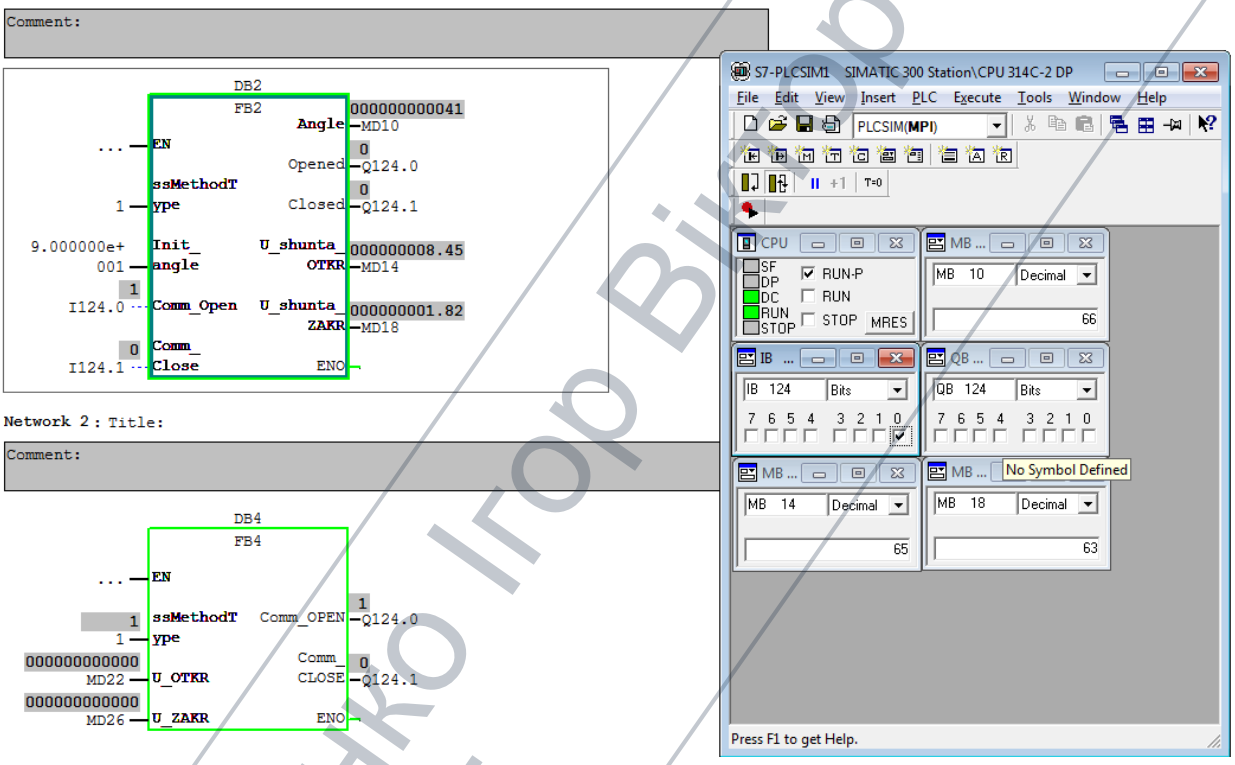


Рисунок 4.20 – Перевірка виконання функції на рівні програмного блоку (виконання команди «Opened» - відкриття крану)

В розробленій програмі при подачі нуля на вхід IB124.0 відбувається процес відкриття крану. На виході MD10, підраховується кут відкриття крану з початкового положення. Стан на виходах MD14 та MD18 індикує напругу на шунтах відкриття та закриття. У випадку, якщо кран відкрився, вихід Q124.0 переходить в стан одиниці, що означає завершення роботи крану. Таким же чином, якщо подати одиницю на вхід I124.1, відбудеться зворотній процесс - кран закривається (рис. 4.21).

Назаренко Ігор Вікторович ФІТУНГ

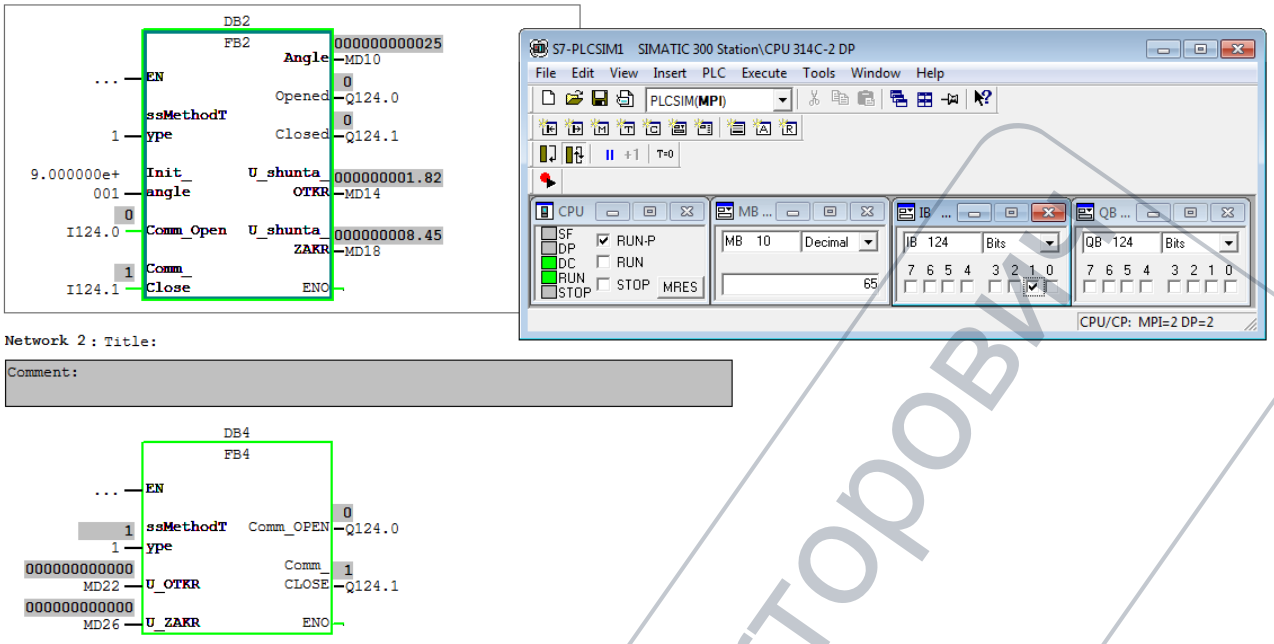


Рисунок 4.21 - Перевірка виконання функції на рівні програмного блоку (виконання команди «Closed» - закриття крану)

Таким чином протестовано процес перевірки виконання функцій «Opened» та «Closed» на рівні змінних та рівні програмних блоків за допомогою симулятора S7-PLCSIM і одержано позитивні результати.

В п.4.5 наведено результати впровадження САК ГРС на основі запропонованих рішень і розроблених методів з дистанційною передачею даних на основі стільникових промислових мереж GSM GPRS [108-110].

4.5 Особливості впровадження уніфікованої САК ГРС

Розроблені в роботі методи дозволили створити САК ГРС на основі уніфікованих процедур і апаратно програмних засобів.

ГРС є складовою частиною газотранспортної системи та одним з основних об’єктів диспетчерського керування і призначені для забезпечення споживачів проектними об’ємами газу з визначеними тиском, вологістю, ступенем очищення від механічних домішок і одоризації. Контрольований

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

пункт (КП) ГРС - об’єкт інфраструктури ГРС, що забезпечує функції контролю, керування, а також комунікаційні функції з SCADA.

Для вирішення одного із завдань ДККС (керування ГРС), пропонується уніфікована САК ГРС (КП ГРС) на базі PLC Simatic S7-300 з можливістю комунікації на основі GSM GPRS.

Впровадження КП ГРС дозволяє:

- забезпечити ефективне функціонування ГРС, як об’єкта ЛВУМГ;
- підвищити рівен автоматизації технологічних процесів на ГРС;
- підвищити ефективність використання технологічного обладнання ГРС;
- забезпечити надійність і безпечну експлуатацію технологічного обладнання ГРС;
- забезпечити захист технологічного обладнання в аварійних ситуаціях;
- забезпечити оперативність і достовірність інформації про хід технологічних процесів та стан обладнання;
- зменшити витрати на технічне обслуговування обладнання ГРС та час його проведення;
- підвищити рівень безпеки споживачів газу.

КП ГРС призначений для оперативного контролю технологічних параметрів ГРС малої та середньої потужності в усіх режимах функціонування та автоматичного і автоматизованого керування технологічним процесом (визначається технічними умовами окремо для кожної ГРС).

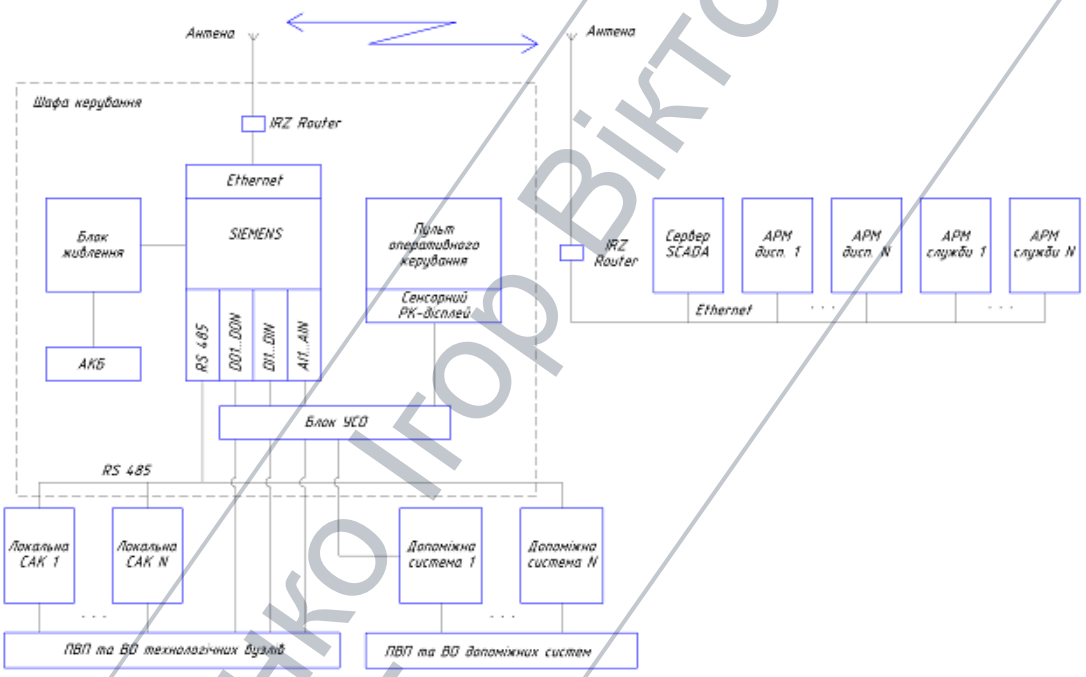
Об’єктами контролю для КП ГРС є:

Основне технологічне обладнання ГРС в складі: вузол перемикання; вузол запобіжної арматури; вузол редукування газу; вузол очищення газу; вузол підігрівання газу; вузол одоризації газу.

Допоміжне технологічне обладнання ГРС в складі: підсистема комерційного обліку газу; підсистема пожежної сигналізації; підсистема охоронної сигналізації; підсистема електроживлення; підсистема ЕХЗ; підсистема газовиявлення; підсистема опалення.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

На рис. 4.22 зображено узагальнену структуру КП ГРС, побудовану на базі PLC S7-300 із застосуванням необхідної кількості модулів розширення. Людино-машинний інтерфейс на нижньому рівні реалізовано на базі сенсорної (touch screen) операторної панелі (Siemens TP 177B). Зв'язок із первинними вимірювальними пристроями та виконавчими об'єктами здійснюється через блоки УСО та сигнальні модулі вводу-виводу (DI, DO, AI) PLC Simatic S7-300. Зв'язок з локальними САК здійснюється на основі інтерфейсу RS-485 та протоколу MODBUS через відповідні комунікаційні процесори PLC [111, 112].



АКБ – акумуляторна батарея; Блок УСО – блок узгодження системних об'єктів;
DO – (Digital Output – цифрові модулі виведення даних;
DI – (Digital Input – цифрові модулі введення даних;
AI – (Analog Input – аналогові модулі введення даних; CP IE/RS-485 – (Communication Processor – комунікаційний процесор для узгодження протоколів Industrial Ethernet і RS-485);
ПВП – первинні вимірювальні пристрої; ВО – виконавчі об'єкти;
IRZ-роутер – радіочастотний прийомо-передавач з технологією GSM GPRS.

Рисунок 4.22 – Узагальнена структура КП ГРС

Передумовами для швидкого і ефективного впровадження запропонованої системи [113], є застосування сучасних уніфікованих апаратно-програмних засобів на базі обладнання Simatic S7. Підтримка шини Ethernet дає змогу виконати безпосереднє з'єднання з GSM GPRS роутером, і в такий

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

спосіб, організувати практично необмежену (обмежується зоною покриття оператора стільникового зв'язку) безпровідну комунікацію з вищими рівнями системи ДККС на основі протоколу TCP/IP [114-116]. На верхньому рівні використовується SCADA зі стандартним OPC-сервером.

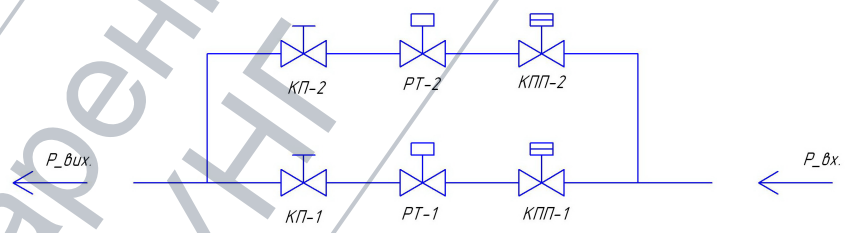
Перевагами розробленого КП ГРС в порівнянні з існуючими є:

- застосування як каналоутворюючого обладнання GSM GPRS роутерів [117] (рис. 4.26), (можлива підтримка двох операторів мобільного зв'язку з автоматичним перемиканням між ними), що дає змогу організувати некомутований резервований канал передачі даних на базі шини Ethernet і протоколу TCP/IP зі швидкістю передавання даних до 171.2 Кбіт/с;

- Реалізація за допомогою КП ГРС алгоритмів захисту споживачів природного газу від значних перепадів тиску (підсистема «Захист») [113].

Алгоритм роботи вузла редукування з одним регулятором тиску газу в ланках редукування

На рис. 4.23 представлено функціональну схему вузла редукування з одним регулятором тиску газу в ланках редукування.



Р_вх. – вхідний тиск газу; Р_вих. – вихідний тиск газу;
РТ – регулятор тиску; КП – крани пробкові з ручним приводом;
КПП – крани з пневмо(гідро) приводом.

Рисунок 4.23 – Функціональна схема вузла редукування з одним регулятором тиску газу в ланках редукування

Вихідними даними для алгоритму є:

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

- РТ-2 налаштований на робочий тиск $P_{вих.}$;

- РТ-1 налаштований на робочий тиск $P_{вих.}$ мінус 10%;

- КПП-2 – відкритий, КПП-1 – відкритий, тиск на вході $P_{вх.}$.

При цьому можливі такі робочі ситуації:

- підвищення тиску після вузла редукування вище рівня $P_{вих.}$

РТ-2 повинен припинити подавання газу, якщо РТ-2 припиняє подвання газу, то очікується зниження тиску після вузла редукування нижче рівня $P_{вих.}$., РТ-2 підтримує тиск на робочому рівні, ГРС працює у штатному режимі, робочий тиск $P_{вих.}$

Якщо РТ-2 не припиняє подвання газу (вийшов з ладу), то закривається КПП-2, очікується зниження тиску перед вузлом редукування до рівня $P_{вих.}$ мінус 10%; РТ-1 підтримує тиск на рівні $P_{вих.}$ мінус 10%, ГРС працює у штатному режимі, робочий тиск $P_{вих.}$ мінус 10%.

- зниження тиску після вузла редукування нижче рівня $P_{вих.}$

РТ-2 повинен підтримувати тиск на рівні $P_{вих.}$

Якщо РТ-2 підтримує тиск на рівні $P_{вих.}$, то ГРС працює у штатному режимі.

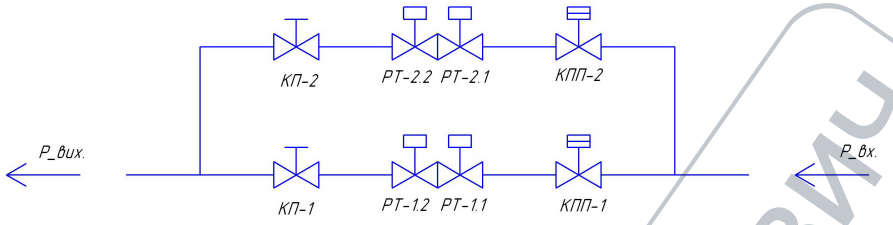
Якщо РТ-2 не підтримує тиск на рівні $P_{вих.}$ (вийшов з ладу), то закривається КПП-2, тиск після вузла редукування знижується до рівня $P_{вих.}$ мінус 10%, РТ-1 підтримує тиск на рівні $P_{вих.}$ мінус 10%, ГРС працює у штатному режимі, робочий тиск $P_{вих.}$ мінус 10%.

Після спрацювання підсистеми «Захист» ремонтна бригада повинна виїхати на ГРС для ремонту регулятора тиску, який вийшов з ладу. Крім того, підсистема «Захист» передбачає режим відлагодження.

Алгоритм роботи вузла редукування з двома послідовно встановленими регуляторами тиску газу в ланках редукування

На рис. 4.24 зображено функціональну схему вузла редукування з двома послідовно встановленими регуляторами тиску газу (актив + монітор) в ланках редукування.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ



Р_вх. – вхідний тиск газу; Р_вих. – вихідний тиск газу;
РТ-1.2, РТ-2.2 – регулятори тиску, «регулятори-активи»;
РТ-1.1, РТ-2.1 – регулятори тиску, «регулятори-монітори»;
КПП-1, КПП-2 – крани з пневмо(гідро) приводом;
КП-1, КП-2 – крани пробкові з ручним приводом.

Рисунок 4.24 – Вузол редукування з двома послідовно встановленими регуляторами тиску газу в ланках редукування

Вихідними даними для алгоритму є:

- РТ-2.2 налаштований на мінімальне значення робочого тиску $Р_{вих.min}$;
- РТ-2.1 налаштований на максимальне значення робочого тиску $Р_{вих.max}$;
- РТ-1.2 налаштований на мінімальне значення робочого тиску $Р_{вих.min}$;
- РТ-1.1 налаштований на максимальне значення робочого тиску $Р_{вих.max}$;
- КПП-2 – відкритий, КПП-1 – закритий, тиск на вході $Р_{вх}$.

При цьому можливі такі робочі ситуації:

- підвищення тиску після вузла редукування вище рівня $Р_{вих.min}$

РТ-2.2 повинен припинити подавання газу.

Якщо РТ-2.2 припиняє подавання газу, то очікується зниження тиску після вузла редукування нижче рівня $Р_{вих.min}$, РТ-2.2 підтримує тиск на робочому рівні, ГРС працює у штатному режимі, робочий тиск $Р_{вих.min}$.

Якщо РТ-2.2 не припиняє подавання газу (вийшов з ладу), то тиск підвищується до рівня $Р_{вих.max}$ і РТ-2.1 повинен припинити подавання газу.

Якщо РТ-2.1 припиняє подавання газу, то очікується зниження тиску після вузла редукування нижче рівня $Р_{вих.max}$; РТ-2.1 підтримує тиск на робочому рівні, ГРС працює у штатному режимі, робочий тиск $Р_{вих.max}$.

Якщо РТ-2.1 не припиняє подавання газу (вийшов з ладу), то відкривається КПП-1, при цьому регулятори тиску РТ-1.2 та РТ1.1 – закриті,

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

закривається кран КПП-2, очікується зниження тиску після вузла редукування до рівня $P_{вих.min}$; регулятор тиску РТ-1.2 підтримує тиск на рівні $P_{вих.min}$, ГРС працює у штатному режимі, робочий тиск $P_{вих.min}$.

- зниження тиску після вузла редукування нижче рівня $P_{вих.min}$

РТ-2.2 повинен підтримувати тиск на рівні $P_{вих.min}$.

Якщо РТ-2.2 підтримує тиск на рівні $P_{вих.min}$, то ГРС працює у штатному режимі, робочий тиск $P_{вих.min}$.

Якщо РТ-2.2 не підтримує тиск на рівні $P_{вих.min}$ (вийшов з ладу), то відкривається КПП-1, закривається КПП-2, регулятор тиску РТ-1.2 підтримує тиск на рівні $P_{вих.min}$, ГРС працює у штатному режимі, робочий тиск $P_{вих.min}$.

Після спрацювання підсистеми «Захист», ремонтна бригада повинна виїхати на ГРС для ремонту регулятора тиску, який вийшов з ладу. Крім того, підсистема «Захист» передбачає режим відладки.

На рис. 4.25 наведено графік зміни в часі тиску газу на вході ГРС, який використовується для реалізації алгоритму «розрив газопроводу на вході ГРС».

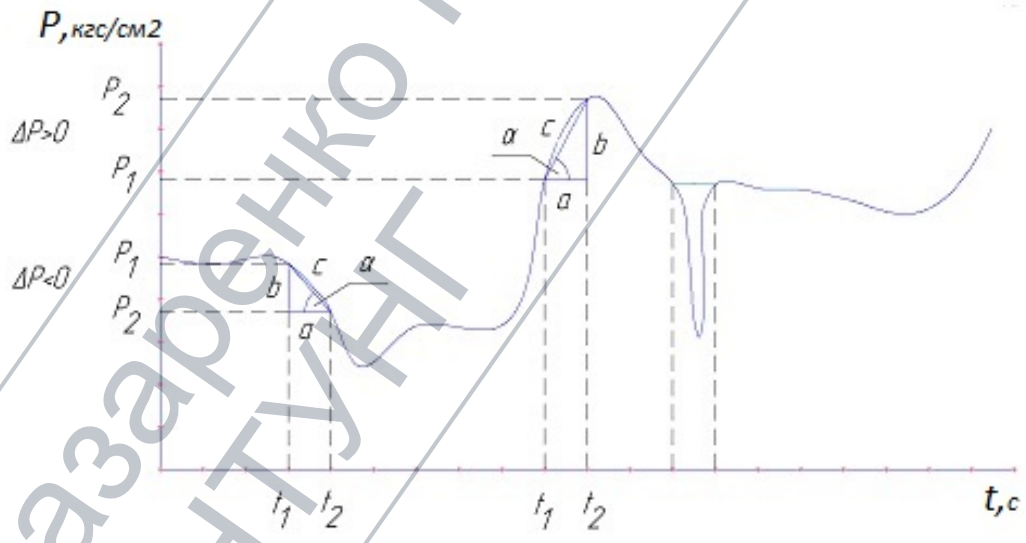


Рисунок 4.25 – Графік зміни в часі тиску газу P на вході ГРС

Нижче наведено послідовність визначення змінних і аналітичні вирази для реалізації алгоритмів «Розрив газопроводу на вході ГРС».

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

$$a = c \cdot \cos(\alpha);$$

$$b = c \cdot \sin(\alpha);$$

$$\Delta t = t_2 - t_1;$$

$$\Delta t \neq 0;$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = P(t_2) - P(t_1).$$

де ΔP - значення зміни тиску в магістральному газопроводі;

Δt - інтервал часу, за який визначається зміна тиску в магістральному газопроводі.

$$tg(\alpha) = \frac{\sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} = \frac{b}{a} = \frac{\Delta P}{\Delta t} \approx \frac{dP}{dt}.$$

Тоді:

$\frac{\Delta P}{\Delta t}$ – швидкість зміни функції.

За визначеними параметрами формуються сигнали.

При $tg(\alpha) \leq 0.27$ - формується сигнал «Норма»;

при $0.27 < \text{tg}(\alpha) \leq 0.58$ - формується сигнал «Попередження»;

при $0.58 < tg(\alpha)$ - формується сигнал «Розрив газопроводу на вході ГРС».

Дослідні роботи виконано у відповідності до галузевих стандартів: СОУ 49.5-30019801-115:2014 – «Правила технічної експлуатації магістральних газопроводів» [7]; СОУ 60.3-30019801.036:2006. – «Автоматизовані системи керування лінійною частиною магістральних газопроводів. Програмно-технічні засоби» [118]; «Концепція створення автоматичних газорозподільних станцій в ДК «Укртрансгаз»» [119]; СОУ 60.3-30019801-079:2010 «Системи автоматичного керування газорозподільчими станціями. Основні технічні вимоги» [120]; СОУ 60.3-30019801-103:2012 «Газорозподільчі станції. Централізована форма обслуговування. Основні технічні вимоги» [121].

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Реалізація уніфікованої АСК КП ГРС

На рис. 4.26 наведено уніфіковану АСК ГРС на базі обладнання Simatic S7 та GSM GPRS комунікації.

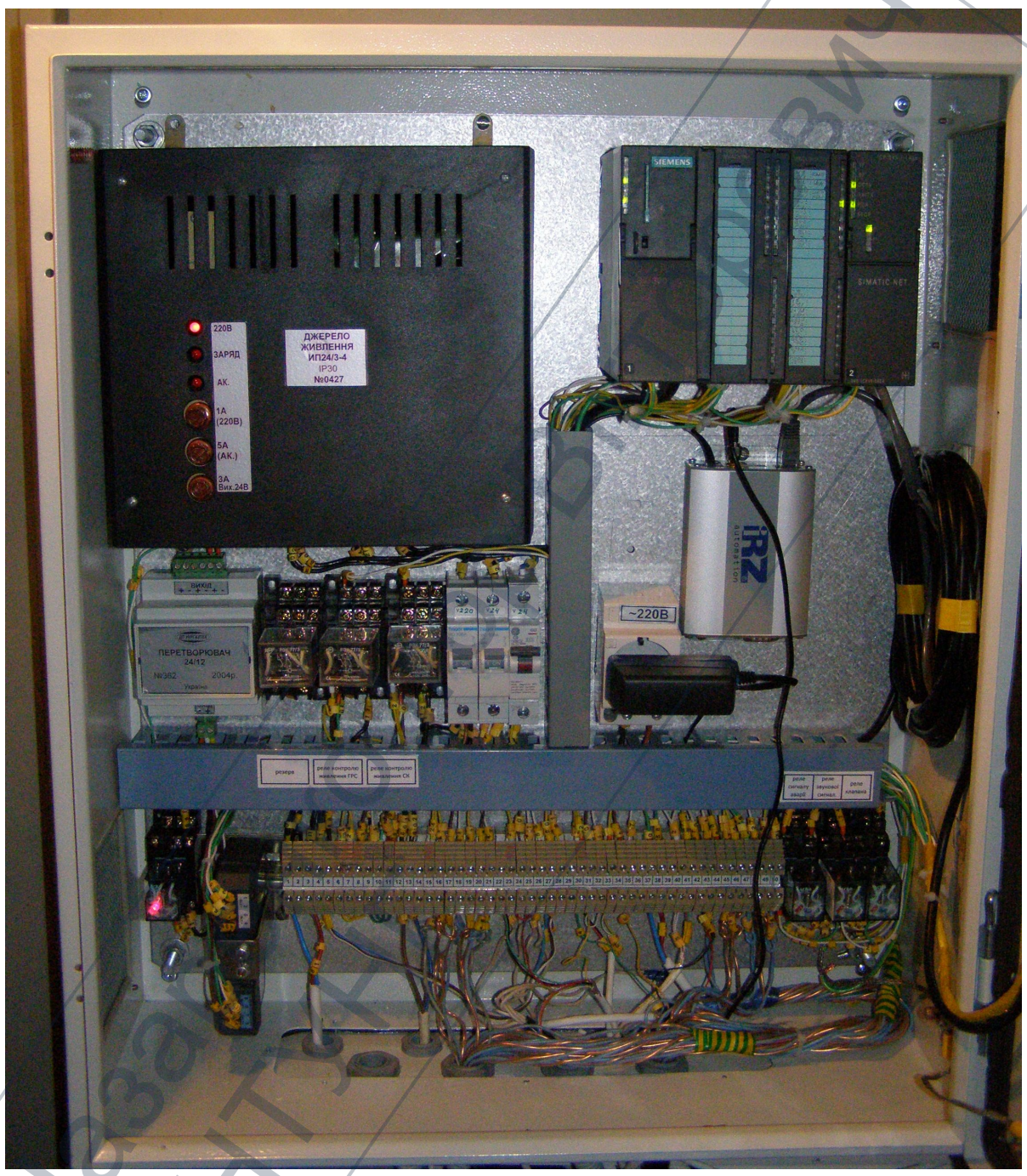


Рисунок 4.26 – Уніфікована АСК КП ГРС на базі обладнання Simatic S7 та GSM GPRS технології

На рис. 4.27 зображено вікно технологічної схеми (SCADA «InTouch») [122, 123, 74] уніфікованого КП ГРС на базі обладнання Simatic S7 та GSM GPRS комунікації.

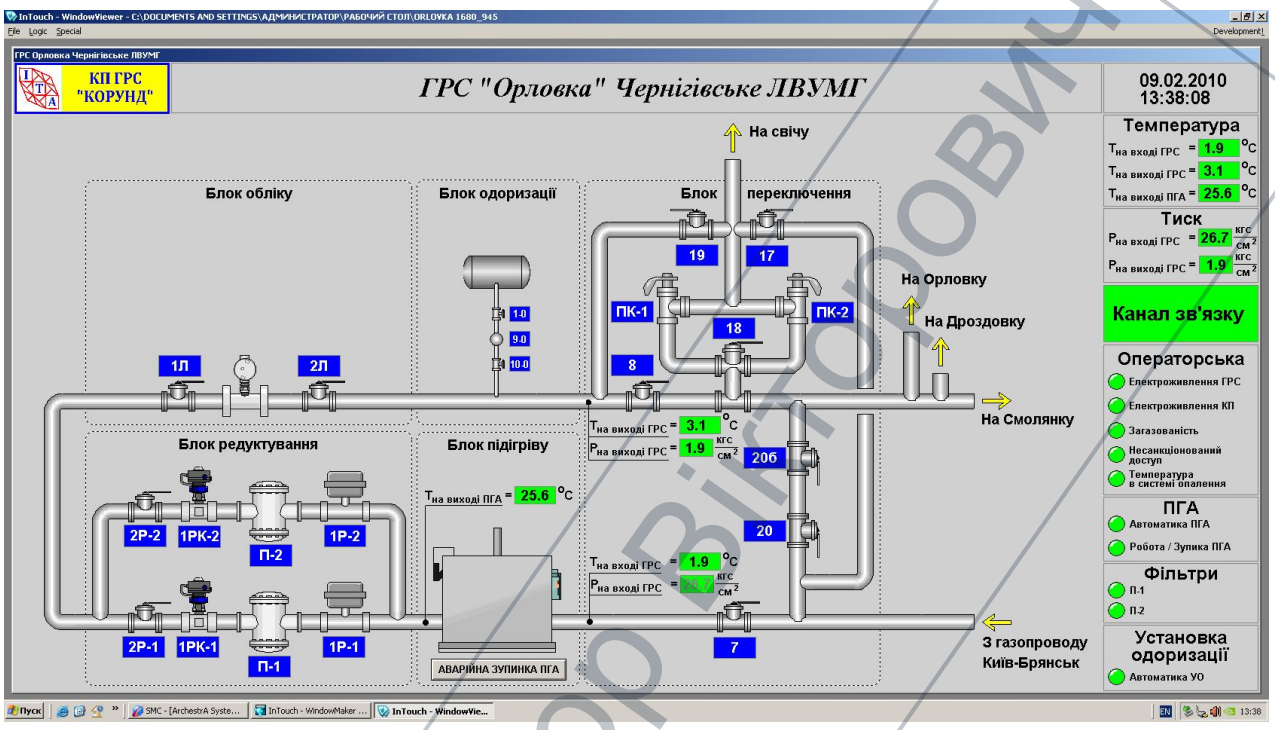


Рисунок 4.27 – Вікно SCADA «InTouch» - технологічна схема уніфікованого КП ГРС на базі обладнання Simatic S7 та GSM GPRS комунікації

Розроблена АСК КП ГРС на базі обладнання Simatic S7 та GSM GPRS технології забезпечує:

- організацію некомутованого каналу передавання даних між ГРС та диспетчером;

- контроль диспетчером відповідного підрозділу основних технологічних параметрів ГРС;

- можливість дистанційного керування обладнанням ГРС;

- реалізацію на нижньому рівні, захисту споживача від різких перепадів тиску на виході ГРС;

- відпрацювання алгоритму «Розрив газопроводу на вході ГРС», оперативне попередження диспетчера.

Назаренко Ігор Віталійович ФНТУНГ

Таким чином, впровадження КП ГРС дасть змогу перейти від періодичного обслуговування ГРС двома операторами до періодичного обслуговування ГРС одним оператором, а у подальшому - до централізованої форми обслуговування згідно СОУ 60.3-30019801-103:2012 «Газорозподільчі станції. Централізована форма обслуговування. Основні технічні вимоги» [121].

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Висновки до розділу 4

1. Визначено перелік задач при розробці методів побудови систем керування виконавчими механізмами технологічних об’єктів КС на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів.

Розроблено функціональну схему системи керування виконавчими механізмами ЕППУ-4-1 на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів.

2. Розроблено метод контролю кіл керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1 в режимі очікування та під час керування, на який отримано патент України.

3. Розроблено алгоритм керування, який розширює функціональні можливості системи управління виконавчими механізмами ЕППУ-4-1 та забезпечує безперебійне функціонування.

Розроблено імітаційну модель системи управління виконавчими механізмами ЕППУ-4-1, що дозволило відпрацювати і дослідити режими їх роботи та забезпечити функції діагностики стану.

4. Для інтеграції вищевказаної моделі в апаратні засоби на основі PLC Simatic S7, застосовано запропонований метод генерування функціональних блоків в стандарті IEC 61131 шляхом перетворення управляючого функціонального блоку моделі «MatLab Simulink» в програмний код на мові SCL з подальшим перетворенням в функціональні блоки PLC Simatic S7.

5. Для імітації та дослідження режимів роботи виконавчих механізмів ЕППУ-4-1 створено інструментарій у вигляді апаратно-програмного комплексу на базі уніфікованих апаратно-програмних засобів Simatic S7, що дозволяє проводити дослідження режимів роботи та алгоритмів керування виконавчими механізмами.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

6. Розроблено і впроваджено КП ГРС, що забезпечило: організацію некомутованого каналу передавання даних між ГРС та диспетчером; контроль диспетчером відповідного підрозділу основних технологічних параметрів ГРС; можливість дистанційного керування обладнанням ГРС; реалізацію на нижньому рівні алгоритму «захист» споживачів від різких перепадів тиску на виході ГРС та алгоритму «розрив газопроводу на вході ГРС».

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу в галузі автоматизації об’єктів керування – розроблено методи і моделі для побудови автоматизованих систем керування компресорними станціями на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів і отримано такі основні результати:

1. В результаті проведеного аналізу сучасного стану САК КС на прикладі УМГ «Київтрансгаз» встановлено, що значна їх частина є різнотипною, вводилася в експлуатацію протягом тривалого часу, включає морально застарілі апаратно-програмні засоби, несумісні комунікації та ін., що не відповідає сучасним вимогам часу і призводить до значних матеріальних втрат і незручностей при експлуатації КС. Сформульовано задачі уніфікації САК КС і обгрунтовано вибір інструментарію для аналізу технологічних параметрів, моделювання, дослідження режимів роботи і обробки результатів досліджень компонентів САК КС.

2. Розроблено топологічні і функціональні рішення побудови САК, які дозволяють застосовувати сучасні інформаційні технології з використанням широкого набору топологічних рішень, можливістю діагностики та імітації режимів роботи САК на усіх етапах їх розробки та експлуатації. Удосконалено класифікацію і розроблено ідентифікатори технологічних об’єктів УМГ «Київтрансгаз» (ГПА-КЦ-КС) та їх технологічних параметрів, що дозволило уніфікувати процедури збору, обробки, передачі і зберігання даних в АСК КС.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

3. Розроблено та апробовано методи формування тестових сигналів для імітації режимів роботи САК, що розширює їх функціональність і підвищує готовність САК на етапі проектування, удосконалено метод автоматичного генерування програмного коду PLC з імітаційних моделей, що суттєво зменшує кількість помилок при традиційному складанні програмних кодів та зменшує час на їх розробку і валідацію.

4. Вперше розроблено імітаційну модель нагнітача ГПА на основі методу групового урахування аргументів, що дозволило дослідити режими роботи ГПА і розробити ефективні алгоритми керування КС. Проведено дослідження технологічних параметрів на аномальність і наявність тренду з використанням визначених статистичних критеріїв та розроблено алгоритміче забезпечення для їх реалізації, що дозволило зменшити експлуатаційні втрати за рахунок виключення вимушених зупинок ГПА і часу їх простоїв.

5. Вперше створено імітаційну модель і алгоритмічне забезпечення для дослідження показників продуктивності нагнітача ГПА, що дозволяє забезпечувати режим максимальної комерційної продуктивності КЦ та розроблено компоненти людино-машинного інтерфейсу САК КС на базі SCADA-системи WinCC, що забезпечило можливість дослідження режимів роботи КЦ в режимі реального часу, візуалізацію процесів керування, архівування технологічних параметрів і формування інформаційних повідомлень про нештатні ситуації.

6. Розроблено імітаційну модель системи керування виконавчими механізмами ЕППУ-4-1, яка дозволяє досліджувати режими їх роботи та забезпечити функції діагностики стану, спосіб контролю кіл керування ЕППУ-4-1 в режимі очікування та під час керування, що підвищує технічні та експлуатаційні характеристики розроблюваних систем. Розроблено функціональну схему системи керування виконавчими механізмами ЕППУ-4-1 на технологічних об’єктах КС на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів Simatic S7.

Назаренко Ігор Віталійович ІФНТУНГ

7. Для інтеграції розроблених моделей САК КС в апаратні засоби на основі PLC, удосконалено метод генерування функціональних блоків в стандарті IEC 61131 шляхом перетворення моделі з середовища «MatLab-Simulink» в програмний код на мові SCL з подальшим автоматичним генеруванням функціональних блоків PLC Simatic S7. Для імітації та дослідження режимів роботи виконавчих механізмів ЕППУ-4-1 створено інструментарій у вигляді апаратно-програмного комплексу на базі уніфікованих АПЗ Simatic S7, що дозволяє проводити дослідження режимів роботи та алгоритмів керування виконавчими механізмами без порушення технологічного режиму роботи КС.

8. Результати досліджень на основі створених імітаційних моделей та розроблених тестових сигналів для дослідження режимів роботи пройшли промислову апробацію і впровадженні на підприємствах ГТС України в процесі розгортання ДПКС (зокрема, при розробці КП ГРС), що підтверджено відповідним актом впровадження.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Еремин Н.В. Компрессорные станции магистральных газопроводов [Текст] / Н.В. Еремин, О.А. Степанов, Е.И. Яковлев. - СПб.: «Недра», 1995. – 354 с.: ил.

2. Перевощиков С.И. Компрессорные станции магистральных газопроводов [Текст]: [учебное пособие] / С.И. Перевощиков. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2004. – 100 с.

3. Коршак А.А. Основы нефтегазового дела [Текст]: [учебник для ВУЗов] / А.А. Коршак, А.М. Шаммазов. – Уфа: ООО «Дизайн Полиграф Сервис», 2002. - 544 с.

4. Козаченко А.Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов [Текст] / А.Н. Козаченко. – М.: Нефть и газ, 1999. – 463 с.

5. Березін В.Л. Споруди насосних і компресорних станцій [Текст]: [підручник для ВНЗ] / В.Л. Березін, Н.В. Бобрицький. – М.: Надра, 1985. – 288 с.

6. Яковлєв Є.І. Режими газотранспортних систем [Текст] / Є.І. Яковлєв, О.С. Казак, В.Б. Михалків [та ін.]. – Львів: Світ, 1992. – 170 с.

7. Правила технічної експлуатації магістральних газопроводів [Текст]: СОУ 49.5-30019801-115:2014. – К.: ДК «Укртрансгаз», 2014. – 282 с.

8. Ревзин Б.С. Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты [Текст] / Б.С. Ревзин. – М.: Недра, 1986. – 215 с.

9. Типовые технические требования к газотурбинным ГПА и их системам [Текст]. - М.: «ВНИИГАЗ», 1997. – 32 с.

10. Ільченко Б.С. Діагностування функціонально-технічного стану газоперекачувальних агрегатів [Текст]: монографія / Б.С. Ільченко. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 228 с.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

11. Вертепов А.Г. Метод оценки выходных показателей ГТУ в эксплуатационных условиях [Текст] / А.Г. Вертепов // Газовая промышленность. - 2001. – №3. – С. 31-33.

12. Васильев Ю.Н. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов [Текст] / Ю.Н. Васильев, М.Е. Бесклетный, Е.А. Игуменцев [и др.]. – М.: Недра, 1987. - 196 с.

13. Замиховский Л.М. Исследование диагностических признаков технического состояния газоперекачивающих агрегатов ГТК-25I фирмы Нуово-Пиньоне [Текст] / Леонид Замиховский, Владимир Павлык // Молодой ученый. -2014. – №15(74). – С. 75-79.

14. Заміховський Л.М. Новий підхід до розробки методу діагностування технічного стану лопатевого апарату газотурбінних установок. [Текст] / Л.М. Заміховський, Н.І. Іванюк //AGH Drillig, Oil, Gas. - AGH University of Science and Technology. – Krakow. – 2013. - Vol.30. - P. 345-353.

15. Максимеко С.В. Методы и средства технической диагностики оборудования компрессорной станции [Текст] / С.В. Максимеко, Т.Н. Поляков, А.И. Труфанов // Обзорн. информ. Сер. Транспорт и подземное хранение газа. - М.: ВНИИЭГазпром, 1990. – 66 с.

16. Сапрыкин С.А. Методы и технические средства вибрационной диагностики газоперекачивающего оборудования [Текст] / С.А. Сапрыкин. – Х.: Прапор, 2009. – 368 с.

17. Ізбаш В.І. Розробка методів параметричного діагностування газоперекачувальних агрегатів в умовах компресорних станцій (на прикладі агрегатів ГТК-10І та ГТК-25І) [Текст]: автореф. на здобуття наук. ступ. канд. техн. наук / В.І. Ізбаш. – Івано-Франківськ, 1994. – 22 с.

18. Соляник В.Г. Удосконалення вібродіагностичних методів та засобів контролю газоперекачувальних агрегатів ГПА-25/76 [Текст]: автореф. на здобут. наук. ступ. канд. техн. наук / В.Г. Соляник. – Івано-Франківськ, 2000. – 19 с.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

19. Лагойда А.І. Аналіз динамічних властивостей Відцентрового нагнітача ГПА з газотурбінним приводом як об'єкта керування [Текст] / А.І. Лагойда, Ю.Є. Бляут, Є.М. Лесів, Г.Н. Семенцов // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ, 2012. – №2(18). – С. 72-85.

20. Методические указания по определению мощности и оценке технического состояния проточной части газоперекачивающих агрегатов с турбоприводом [Текст]. - М.: Оргтехдиагностика, 1983. – 32 с.

21. Компресорні станції. Контроль теплотехнічних та екологічних характеристик газоперекачувальних агрегатів [Текст]: СОУ 49.5-30019801-104:2012. - К.: ДК «Укртрансгаз», 2012. – 189 с.

22. Назаренко І.В. Аналіз сучасного стану систем диспетчерського керування газотранспортною системою [Текст] / І.В. Назаренко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2007. – № 2 (том 1, технічні науки). – С. 40-42.

23. Назаренко І.В. Використання технології розподіленого вводу-виводу в системах автоматичного керування технологічним обладнанням компресорного цеху [Текст] / І.В. Назаренко, М.Я. Николайчук, В.Д. Ференець // Нафтогазова енергетика 2013: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ. - Івано-Франківськ, 2013. - С. 435-437.

24. Слободчиков К.Ю. Метод структурного моделирования системы управления компрессорным цехом [электронный рессурс]: сборник статей юбил. междунар. науч.- практ. конф. «Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров» / К.Ю. Слободчиков. – Пенза, 2004. – С. 72-76. Режим доступа: \ www/URL:// http://model.exponenta.ru/slob_01.html.

25. Слободчиков К.Ю. Математическое и информационное обеспечение системы управления компрессорного цеха газоперекачивающих агрегатов [электронный рессурс]: Автоматизация в промышленности / К.Ю. Слободчиков. – ИПУ РАН, 2004. - №7. - С. 38-41. Режим доступа: \ www/URL:// http://avtprom.ru/matematicheskoe-i-informatsionnoe-obespe.

26. Панкратов В.С. АРМ диспетчера газотранспортного объединения: обзорн. информ [Текст] / В.С. Панкратов, В.И. Никишин, А.С. Вербило;

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Газпром - М., 1990. – 31 с. - (Автоматизация, телемеханизация и связь в газ. пром-сти).

27. Панкратов В.С. Развитие АСДУ ГТП на базе современных SCADA-систем: обзорн. информ. [Текст] / В.С. Панкратов, С.А. Сарданашвили, С.А. Николаевская; Газпром - М., 2003. – 66 с. - (Автоматизация, телемеханизация и связь в газ. пром-сти).

28. Седых И.А. Оценка и мониторинг надежности в АСДУ [Текст] / И.А. Седых // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России : Материалы 8-ой Всероссийской научной конференции, посвященной 80-летию Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – М., 2010. – С. 78.

29. Франко О.А. Сучасний стан проблеми передачі даних для лінійної частини магістральних газопроводів [Текст] / О.А. Франко, І.В. Назаренко, І.І. Фурманчук, М.Я. Николайчук // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки. - Івано-Франківськ, 2006. – № 2(8). – С. 111-118.

30. Фурманчук И.И. Решения по организации связи и передаче данных на линейной части магистральных газопроводов [Текст] / И.И. Фурманчук // Современные технологии автоматизации. – Москва, 2005. – № 2. – С. 44-51.

31. Колосова А.Л. Разработка системы мониторинга коррозионной стойкости линейной части магистральных газопроводов на основе теории нечеткой логики [Текст]: автореф. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук. / А.Л. Колосова. – Тюмень, 2012. – 20 с.

32. Павлик В.В. Епоха модернізації [Текст] / В.В. Павлик, З.Й. Концур, Б.Ф. Труфан // Трубопровідний транспорт. – Київ, 2013. - № 4(64). – С. 16-17.

33. OpenScada - концепція системи [Електронний ресурс] // OpenSCADA [сайт]. - Режим доступу: \ www/URL:// http://oscada.org/ru/dokumentacija

34. SCADA WinCC V7.2. Начало работы. Печатная версия интерактивной справки [Текст]. – Siemens, 2008. – 254 с.

35. Product Guide. Totally Integraited Automation. Ansvers for Industry [Текст]. - Siemens AG: Editions, 2013. – 83 p.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

36. Уніфікація [Електронний ресурс]: Матеріал з вікіпедії. – Режим доступу: http://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D1%96%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F.

37. Назаренко І.В. Організація і компоненти систем диспетчерського керування компресорними станціями [Текст] / І.В Назаренко, М.Я. Николайчук // Методи та прилади контролю якості. - 2008. - №21. - С. 83 -86.

38. Програма розвитку систем і засобів автоматизації й телемеханіки [Текст] - К.: ПАТ «Укртрансгаз», 2014 – 15 с.

39. Оцінка економічної ефективності впровадження енергозберігаючих заходів та технологій. Методика [Текст]: СОУ 74.1-20077720-012. - К.: ДК «Укртрансгаз», 2012. – 45 с.

40. Концептуальні технічні рішення та архітектура побудови АСК ТП - [Текст] К.: ПАТ «Укртрансгаз» - 2014. - 67 с.

41. Ивахненко А.Г. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным [Текст] / А.Г. Ивахненко, Ю.П. Юрачковский. - М.: Радио и связь, 1987.- 120 с.

42. Дьяконов В. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения [Текст] / В. Дьяконов. - 2008. – 800 с. - (Серия: библиотека профессионала. СОЛОН-Пресс).

43. MathWorks - MATLAB and Simulink for Technical Computing - A [Електронний ресурс]: OPC Toolbox™: User’s Guide. – 2014. – 512 с. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/opc/opc.pdf.

44. Include MATLAB code in models that generate embeddable C code - Simulink [Електронний ресурс]: MATLAB Function. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/simulink/slref/matlabfunction.html.

45. Дрейпер Н. Прикладний регресійний аналіз. Множинна регресія - Applied Regression Analysis [Текст] / Норман Дрейпер, Гарі Сміт. – 3-є вид. – М.: «Діалектика», 2007. – 912 с.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

46. Руденко В.М. Математична статистика [Текст]: навч. посіб. / В.М. Руденко. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304 с.

47. Жуков М.Н. Статистичний аналіз і обробка геологічних даних [Текст] / М.Н. Жуков. – К.: Київський університет, 2008. – 487 с.

48. Кирьянов Д.В. Вычислительная физика [Текст] / Д.В. Кирьянов, Е.Н. Кирьянова. – М.: Полибук Мультимедиа, 2006. – 352 с.

49. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень [Текст]: навчальний посібник. Частина 1 / [Р.Н. Квєтний, І.В. Богач, О.Р. Бойко та інші]; за заг. ред. Р.Н. Квєтного. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 191 с.

50. Ивахненко А.Г. Метод группового урахування аргументів - конкурент методу стохастичної апроксимації [Текст] / А.Г. Ивахненко // Автоматика. - 1968. - № 3. - С. 58-72.

51. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами [Текст] / А.Г. Ивахненко. - Киев: «Техніка», 1975. – 311 с.

52. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. [Текст] / А.Г. Ивахненко. - Киев: "Наук. думка", 1982. – 296 с.

53. Ивахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования [Текст] / А.Г. Ивахненко, В.С. Степашко. - Киев: «Наук. Думка», 1985. – 216 с.

54. Ivachnenko A.G. Selbstorganisation von Vorhersagemodellen. [Текст] / A.G. Ivachnenko, J.A. Muller. - Berlin: Veb Verlag Technik, 1984. – 223 с.

55. Madala H.R. Inductive learning algorithms for complex systems modeling. [Текст] / H.R. Madala, A.G. Ivakhnenko. - New York: Boca Raton, CRC Press, 1994. – 384 с.

56. Степашко В.С. Анализ эффективности критериев структурной идентификации прогнозирующих моделей [Текст] // Проблемы управления и информатики. - 1994. - № 3-4. - С. 13-21.

57. Степашко В.С. Структурна ідентифікація моделей як задача відновлення сигналу в умовах неповноти інформації [Текст] // Наукові праці ДНТУ. Серія: Обчисл. техніка та автоматизація. - Вип. 48. - Донецьк: ДНТУ, 2002. - С. 345-353.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

58. Степашко В.С. Теоретичні аспекти МГУА як методу індуктивного моделювання [Текст] // Управляющие системы и машины. - 2003. - №2. - С. 31-44.

59. Proceedings of International Workshop on Inductive Modelling (IWIM 2007) [Текст] - Prague: Czech Technical University, 2007. – 329 p. - ISBN 978-80-01-03881-9.

60. Владимиров В.А. Алгоритм выявления предвестников аварийных остановов газоперекачивающих агрегатов [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.13.01 / В.А. Владимиров. – Тюмень, 2011. – 202 с.

61. Group Method of Data Handling (GMDH) for data mining, forecasting algorithms optimization, fuzzy models analysis, statistical learning networks and modeling software systems [Електронний ресурс]: GMDH. – Режим доступу: http://gmdh.net/.

62. Якушенко О.С. Діагностика газотурбінних установок та компресорів: Методичні рекомендації до виконання домашніх робіт [Текст] / О.С. Якушенко. – К.: НАУ, 2008. – 31 с.

63. Назаренко І.В. Застосування технології розподіленого вводу/виводу в системах автоматичного керування технологічним обладнанням компресорного цеху [Текст] / І.В. Назаренко, М.Я. Николайчук, В.Д. Ференець // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ, 2013. - № 2(20). – С. 79-84.

64. Назаренко І.В. Аналіз сучасного стану систем диспетчерського керування газотранспортною системою [Текст] / І.В. Назаренко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2007. - № 2 (том 1, технічні науки). – С. 40-42.

65. Назаренко І.В. Основні вимоги до програмно-апаратного комплексу автоматизованої системи диспетчерського керування газотранспортною системою [Текст] / І.В. Назаренко // Наукові вісті інституту менеджменту та економіки. - Івано-Франківськ, 2007. - № 1(11). – С. 186-193.

66. Программируемые контроллеры S7-400. Каталог ST 70, часть 6 [Текст] – Siemens: AG, 2015. – 154 с.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

67. Industrial Communication. Simatic NET. part 2, PROFINET/Industrial Ethernet [Текст] - Catalog IKPI: Siemens AG, 2015. – P 2/147-2/344.

68. Назаренко І.В. Побудова систем управління об’єктами газотранспортної системи на базі уніфікованої технології генерування функціональних блоків з їх математичних моделей [Текст] / І.В. Назаренко, М.Я. Николайчук // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2012. - № 3(44). – С. 177-186.

69. Заміховський Л.М., Николайчук М.Я. «Компоненти систем збору, обробки та передачі даних». Частина 1 – (Первинні перетворювачі та нормуючі кола): Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: ІМЕ «Галицька академія», 2006. – 200 с.: іл.

70. Автоматизована система керування для збору, зберігання та обробки даних центрального диспетчерського пункту ДК «Укртрансгаз». Технічний проект [Текст] - АСК 330 ЦДП-01: Книга 1. Обстеження., 2012 - 114 с.

71. Ранганатан Ш.Р. Классификация двоеточием: Основная классификация [Текст] / Ш.Р. Рангатан; [пер. с англ. Т. С. Гомолицька]. – М.: ГПНТБ СССР, 1970. – 422 с.

72. SIMATIC HMI. WinCC V7.0 SP2. WinCC/WebNavigator Documentation. – Siemens. 07/2010. - 130 p.

73. SIMATIC.DDE Server Configuration and Administration. User Manual (C7900-G7076-C807-01) Version 2. – Siemens, 1996. - 126 p.

74. Николайчук М.Я. Методи і способи організації WEB-орієнтованих систем диспетчерського керування компресорними станціями на основі SCADA WinCC [Текст] / М.Я. Николайчук, І.В. Назаренко // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ, 2010. - № 2(11). – С. 53-63.

75. Назаренко І.В. Організація і компоненти систем диспетчерського керування компресорними станціями [Текст] / І.В. Назаренко, М.Я. Николайчук // Методи та прилади контролю якості. - Івано-Франківськ, 2008. - № 21. – С. 83-86.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

76. IEC (International Electrotechnical Commission) 61131-3, 2nd Ed., Programmable controllers. – Programming languages: Geneva, 2013. – 464 p.

77. Дьяконов В. MATLAB R2006/2007/2008 + Simulink 5/6/7. Основы применения. Серия: библиотека профессионала. - СОЛОН-Пресс, 2008. – 800 с.

78. Программирование с помощью STEP 7 V5.3. Руководство. Siemens (A5E00261405-01), 01/2004. - 622 с.

79. Николайчук М.Я. Моделювання та імітація компонентів систем диспетчерського керування компресорними станціями на базі апаратно-програмних засобів «Siemens» і пакету MATLAB [Текст] / М.Я Николайчук, І.В. Назаренко // Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі: Анотовані матеріали XXVIII(III) Міжнародної міжвузівської школи-семінару, м. Івано-Франківськ. - Івано-Франківськ, 2011. – 8 с.

80. S7-SCL V5.1 для S7-300/S7-400. Руководство. Siemens (6ES7811-1CC04-8BA0), 09/2000. - 366 с.

81. Иванова О.Н. Метод формирования и использования моделей ГТД на различных етапах проектирования доводки и эксплуатации [Текст]: дис. канд. наук 05.07.05 / О.Н. Николаевна. – Уфа: Библиогр, 2005. – 370 с.

82. Кофман В.М. Методика и опыт параметрической идентификации математических моделей компрессоров и вентиляторов по результатам стендовых испытаний ГТД [Текст] / В.М. Кофман // Вестник самарского государственного аэрокосмического университета им. Академика С.П. Королева. - Авиационная и ракетно-космическая техника №3-1, 2011. – С. 257-266.

83. Дорф Р. Современные системы управления [Текст] / Р. Дорф, Р. Бишоп; [пер. с англ. Б.И. Копылова]. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.: ил.

84. Михальцев В.Е. Регулирование и вспомогательные системы газотурбинных установок [Текст]: учебное пособие для студентов энергомашиностроительных специальностей вузов / В.Е. Михальцев, О.М. Панков, В.Д. Юношев. – М.: Машиностроение, 1982. – 253 с.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

85. Сарданашвили С.А. Расчетные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа) [Текст] / С.А. Сарданашвили. – М.: ФГУП Изд-во « Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – 577 с.

86. Group Method of Data Handling (GMDH) for data mining, forecasting algorithms optimization, fuzzy models analysis, statistical learning networks and modeling software systems [Електронний ресурс]: GMDH. – Режим доступу : http://gmdh.net/.

87. Read Microsoft Excel spreadsheet file - MATLAB xlsread [Електронний ресурс]: xlsread. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/ matlab/ref/xlsread.html.

88. 1-D data interpolation (table lookup) - MATLAB interp1 [Електронний ресурс]: interp1. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/matlab/ ref/interp1.html.

89. Назаренко И.В. Моделирование режимов работы газоперекачивающих агрегатов на основании метода группового учета аргументов [Текст] / И.В. Назаренко, Н.Я. Николайчук, Н.И. Козовик // Молодой ученый. – Москва, 2014. - №7. – С. 162-171.

90. Solve nonlinear curve-fitting (data-fitting) problems in least-squares sense - MATLAB lsqcurvefit [Електронний ресурс]: lsqcurvefit. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/optim/ug/lsqcurvefit.html.

91. Include MATLAB code in models that generate embeddable C code - Simulink [Електронний ресурс]: MATLAB Function. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/simulink/slref/matlabfunction.html.

92. What Is a MATLAB Function Block? - MATLAB & Simulink [Електронний ресурс]: What Is a MATLAB Function Block? – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/simulink/ug/what-is-a-matlab-function-block.html.

93. Якушенко О.С. Діагностика газотурбінних установок та компресорів: Методичні рекомендації до виконання домашніх робіт [Тескт] / О.С. Якушенко. – К.: НАУ, 2008. – 31 с.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

94. Create an Enabled Subsystem - MATLAB & Simulink [Електронний ресурс]: Create an Enabled Subsystem. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/simulink/ug/enabled-subsystems.html.

95. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения [Текст]: ДСТУ 5542-87. - 1998. – 19 с.

96. Корн Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М.: Наука, 1973. – 832 с.

97. MathWorks - MATLAB and Simulink for Technical Computing - A [Електронний ресурс]: OPC Toolbox™: User's Guide, 2014. – 512 с. – Режим доступу: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/opc/opc.pdf.

98. Официальный сайт Департаментов Промышленная Автоматизация и Технологии Приводов - Siemens IA&DT Официальный сайт [Електронний ресурс]: WinCC V7.0: Начало работы, 2008. – 254 с. – Режим доступу: http://iadt.siemens.ru/assets/files/infocenter/Documetations/Automation_systems/HMI/WinCC/V70/GettingStarted_ru.pdf.

99. Siemens Industry Online Support - Automation Service, Automation Support, Simatic Service, Simatic Support, Technical Support, Technical Consulting [Електронний ресурс]: WinCC V7.2. WinCC: Configurations: System Manual, 2013. – 142 с. – A5E32318776-AA. – Режим доступу: https://a248.e.akamai.net/cache.automation.siemens.com/dnl/TE/TE1OTU5AAAA_73568877_HB/53865964939_en-US.pdf.

100. Exdi.ru - Тематический сайт по взрывозащищенной электроаппаратуре [Електронний ресурс]: Узел управления ЭПУУ-4. – Режим доступу до ресурсу: http://www.exdi.ru/file_str/980.pdf.

101. Durham A. Electropositioners / A. Durham. - Hannover Besker, 2005. – 127 p.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

102. Назаренко І.В. Система управління виконавчими механізмами на технологічному обладнанні газотранспортної системи з постійним контролем кіл керування [Текст] / І.В. Назаренко, В.Д. Ференець , Д.Є. Суханов, М.Я. Николайчук // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС – 2013): Збірник тез доповідей ІІ-ї міжнародної наукової конференції – ВНТУ. - Вінниця, 2013. - С. 269-271.

103. Пат. UA 91535, МПК G01R 31/02 (2006.01). Спосіб неперервного контролю стану електричних кіл керування виконавчого механізму [Текст] / І.В. Назаренко, В.Д. Ференець (Україна); заявник та патентовласник: І.В. Назаренко, В.Д. Ференець. – № u 2014 00593; заявл. 21.01.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13. – 6 с.: іл.

104. Назаренко І.В. Побудова і моделювання уніфікованих систем управління виконавчими механізмами об’єктів газотранспортної системи [Текст] / І.В. Назаренко, В.Д. Ференець, Д.Є. Суханов, М.Я. Николайчук // Східно-Європейський журнал передових технологій (системи управління). – Харків, 2014. - № 1/2(67). – С. 41-47.

105. Назаренко І.В. Побудова систем управління об’єктами газотранспортної системи на базі уніфікованої технології генерування функціональних блоків з їх математичних моделей [Текст] / І.В. Назаренко, М.Я. Николайчук // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу». – ІФНТУНГ, 2012. – С. 100 – 102.

106. Siemens Industry Online Support - Automation Service, Automation Support, Simatic Service, Simatic Support, Technical Support, Technical Consulting [Електронний ресурс]: S7-SCL V5.1 для S7-300/S7-400 [Текст]: Руководство. – 09/2000. – 366 с. – 6ES7811-1CC04-8BA0. – Режим доступу до ресурсу : http://cache.automation.siemens.com/dnl_iis/jMzMjgzNQAA_5581793_HB/SCL_V5.1_ru.pdf.

107. Engineering Tools. S7-PLCSIM V5.4. Operating Manual: Siemens (A5E00992424-03). – 2011. – 82 p.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

108. Ратынский М.В. Основы сотовой связи [Текст] / Под ред. Д.Б.Зимина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 2000. – 248 с.: ил.

109. Беспроводные линии связи и сети.: пер. с англ. [Текст]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.: ил.

110. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM [Текст]. - М.: Эко-Трендз, 2005 – 296 с.

111. SIMATIC CP 341: установка PtP-соединения и назначение параметров. Справочное руководство 6ES7 341-1AH00-8BA0 04/2000 (C79000-G7076-C341) Выпуск 03. - 251 с.

112. Николайчук М.Я. Організація інформаційних каналів промислового зв'язку та їх діагностування в системах диспетчерського керування компресорними станціями на базі обладнання Simatic S7-300 [Текст] / М.Я. Николайчук, І.В. Назаренко // Наукові вісті Галицької академії. - Івано-Франківськ, 2009. - № 2(16). – С. 37-44.

113. Назаренко І.В. Особливості впровадження уніфікованої інформаційно-керуючої системи газорозподільних станцій на базі обладнання Simatic S7 та IP GPRS технології [Текст] / І.В. Назаренко // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. - Івано-Франківськ, 2010. - № 3(36). – С. 10-16.

114. Дуглас Камер. Сети TCP/IP, том 1. Принципы, протоколы и структура - Internetworking with TCP/IP, Vol. 1: Principles, Protocols and Architecture. - М.: «Вильямс», 2003. – 880 с.

115. Семенов Ю.А. Протоколы Internet. - 2-е изд., стереотип [Текст]. - М.: Горячая линия - Телеком, 2005. - 1100 с.

116. Терри Оглтри. Модернизация и ремонт сетей - Upgrading and Repairing Networks. - 4-е изд. - М.: «Вильямс», 2005. - 1328 с.

117. ERZ75iX Twin EDGE/GPRS Router [Текст]. Руководство пользователя. IRZ® automation. – Редакция, 2010. – 58 с.

118. «Автоматизовані системи керування лінійною частиною магістральних газопроводів. Програмно-технічні засоби» [Текст]: СОУ 60.3-30019801.036:2006. – К.: ДК «Укртрансгаз», 2006. – 56 с.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

119. Концепція створення автоматичних газорозподільних станцій в ДК «Укртрансгаз» [Текст] К.: 2010. – 21 с.

120. «Системи автоматичного керування газорозподільчими станціями. Основні технічні вимоги» [Текст]: СОУ 60.3-30019801-079:2010. - К.: ДК «Укртрансгаз», 2010. – 51 с.

121. «Газорозподільчі станції. Централізована форма обслуговування. Основні технічні вимоги» [Текст]: СОУ 60.3-30019801-103:2012. - К.: ПАТ «Укртрансгаз», 2012. - 62 с.

122. Андреев Е.Б. «Проектирование систем управления в SCADA-пакете InTouch». Компьютерный практикум [Текст] / Е.Б. Андреев, С.А. Мезенцева, С.В. Пелипец. - М.: РГУ нефти и газа, 2009. – 83 с.

123. Андреев Е.Б. SCADA-системы: взгляд изнутри здательство [Текст] / Е.Б. Андреев, Н.А. Куцевич, О.В. Синенко. - М.: Издательство «РТСофт», 2004. – 176 с.

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

ДОДАТОК А

УНІФІКОВАНІ ТИПИ І ДІАПАЗОНИ ВИМІРЮВАНЬ PLC SIMATIC S7

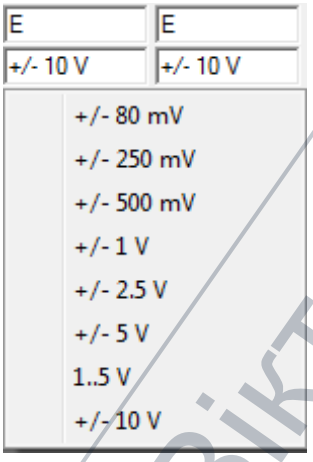


Рисунок А.1 - E (voltage) - напруга (±80 мВ, ±250 мВ, ±500 мВ, ±1 V, ±2.5 В, ±5 В, ±1..5 В, ±10 В

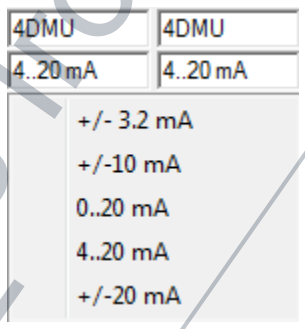


Рисунок А.2 - 4DMU (current 4-wire transduser) - 4-х провідний струмовий перетворювач (±80 мА, ±10 мА, 0..20 мА, 4..20 мА, ±20 мА)

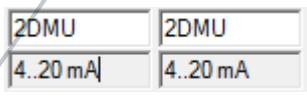


Рисунок А.3 - 2DMU (current 2-wire transduser) - 2-х провідний струмовий перетворювач (4..20 мА)

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Продовження додатку А

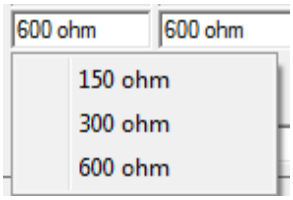


Рисунок А.4 - R4L (resictor 4-conductor terminal) - резистивний мостовий перетворювач (150 Ом, 300 Ом, 600 Ом)

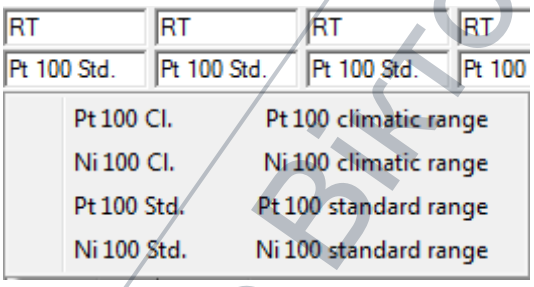


Рисунок А.5 - RT (resistor thermal, linear) - резистивний термоперетворювач з лінійною характеристикою (Pt 100 CI., Ni 100 CI., Pt 100 Std. Ni 100 Std.)

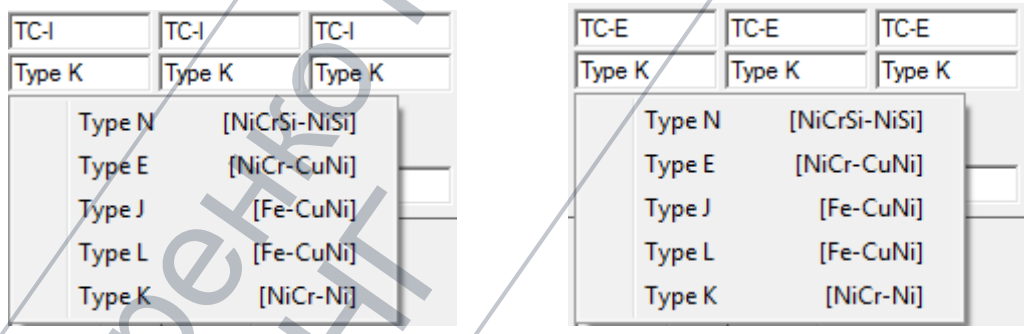


Рисунок А.6 - TC-I (thermocouple internal comparison) - термопара з внутрішньою компенсацією (Тип N [NiCrSi-NiSi], Тип E [NiCr-CuNi], Тип J [Fe-CuNi], Тип L [Fe-CuNi], Тип K [NiCr-Ni]) і TC-E (thermocouple external comparison) - термопара з зовнішньою компенсацією (Тип N [NiCrSi-NiSi], Тип E [NiCr-CuNi], Тип J [Fe-CuNi], Тип L [Fe-CuNi], Тип K [NiCr-Ni])

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку А

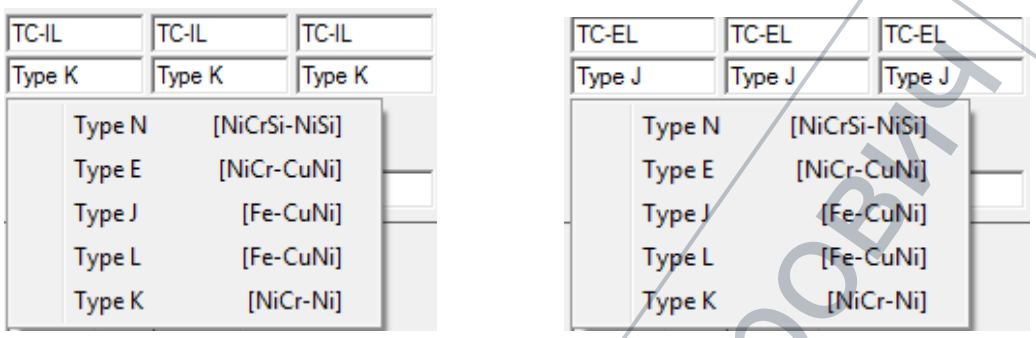


Рисунок А.7 - TC-IL (thermocouple internal comparison, linear) - термопара з внутрішньою компенсацією, лінійна характеристика (Тип N [NiCrSi-NiSi], Тип E [NiCr-CuNi], Тип J [Fe-CuNi], Тип L [Fe-CuNi], Тип K [NiCr-Ni]) і TC-EL (thermocouple external comparison, linear) - термопара з зовнішньою компенсацією, лінійна характеристика

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

ДОДАТОК Б

ЛІСТИНГИ ПРОГРАМ ОБРОБКИ ДАНИХ І РОЗРАХУНКІВ

% Лістинг 1 – Функція «unique_mean»

% Функція застосовується для обробки двох масивів – x та z

% В масиві x перевіряється ознака рівності між собою сусідніх елементів

% Якщо спостерігається ця ознака, то у перший вихідний масив записується

% унікальне значення, а у другий – середнє арифметичне елементів масиву z,

% що відповідають за позиціями однаковим елементам масиву x

```
function y = unique_mean(x, z)
    a = []; b = []; i = 1;
    while i <= length(x)
        if i ~= length(x)
            if x(i) ~= x(i + 1)
                j = 1; a = [a x(i)]; b = [b z(i)];
            else
                j = 2; k = i + 1;
                while x(k) == x(k + 1)
                    j = j + 1; k = k + 1;
                end;
                a = [a x(i)]; b = [b mean(z(i:i + j - 1))];
            end;
        else
            a = [a x(i)]; b = [b z(i)];
        end;
    i = i + j;
    end;

                                                    y = [a; b];
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

% Лістинг 2 – Зчитування експериментальних даних та інтерполяція

```
const_1s = 0.0000115740767796524;

% Константа, яка відповідає 1 секунді згідно функції Excel ВРЕМЯЗНАЧ()
% Зчитування значень параметрів
% Вхідні

P_in = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'B2:B3150');
T_in = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'D2:D3175');
n = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'F2:F4008');

% Вихідні

P_out = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'H2:H3178');
T_out = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'J2:J3243');
delta_P = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'L2:L3083');

% Зчитування значень часу фіксації
% Для вхідних параметрів

time_P_in = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'A2:A3150');
time_T_in = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'C2:C3175');
time_n = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'E2:E4008');

date_P_in = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'M2:M3150');
date_T_in = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'N2:N3175');
date_n = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'O2:O4008');

% Для вихідних параметрів
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

```
time_P_out = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'G2:G3178');
time_T_out = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'I2:I3243');
time_delta_P = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2',
'K2:K3083');

date_P_out = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'P2:P3178');
date_T_out = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2', 'Q2:Q3243');
date_delta_P = xlsread('Данные ГПА Бердичев + конфузор.xlsx', 'all2',
'R2:R3083');

% Інтерполяція даних

time_1s = ((time_P_in(1) + date_P_in(1)):const_1s:(time_P_in(length(time_P_in)) +
date_P_in(length(date_P_in))));

P_in_1s = interp1(time_P_in + date_P_in, P_in, time_1s, 'pchip');

T_in_sort = unique_mean(time_T_in + date_T_in, T_in);
T_in_1s = interp1(T_in_sort(1,:), T_in_sort(2,:), time_1s, 'pchip');

n_sort = unique_mean(time_n + date_n, n);
n_1s = interp1(n_sort(1,:), n_sort(2,:), time_1s, 'pchip');

P_out_sort = unique_mean(time_P_out + date_P_out, P_out);
P_out_1s = interp1(P_out_sort(1,:), P_out_sort(2,:), time_1s, 'pchip');

T_out_sort = unique_mean(time_T_out + date_T_out, T_out);
T_out_1s = interp1(T_out_sort(1,:), T_out_sort(2,:), time_1s, 'pchip');

delta_P_1s = interp1(time_delta_P + date_delta_P, delta_P, time_1s, 'pchip');
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

% Лістинг 3 – Задання апроксимуючого полінома

```
function F = myfun(a, x)

F = a(1) + a(2) * x(:,1) + a(3) * x(:,2) + a(4) * x(:,1) .* x(:,2) + a(5) * x(:,1).^2 +
a(6) * x(:,2).^2;
```

% Лістинг 4 – Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів

```
N = 363480;
x1 = transpose(P_in_1s);          % тиск до нагнітача
x2 = transpose(T_in_1s);          % температура до нагнітача
x3 = transpose(n_1s);          % оберти турбіни нагнітача

y = transpose(P_out_1s);          % тиск після нагнітача
z = transpose(T_out_1s);          % температура після нагнітача
d = transpose(delta_P_1s);     % перепад на конфузорі

% Комбінації вхідних параметрів

x12 = [x1(1:N) x2(1:N)];
x13 = [x1(1:N) x3(1:N)];
x23 = [x2(1:N) x3(1:N)];

% Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів для тиску на виході

a12 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x12,y(1:N));
a13 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x13,y(1:N));
a23 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x23,y(1:N));
a_1st = [a12; a13; a23];
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

% Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів для температури на виході

```
b12 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x12,z(1:N));
b13 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x13,z(1:N));
b23 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x23,z(1:N));
b_1st = [b12; b13; b23];
```

% Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів для перепаду на конфузорі

```
c12 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x12,d(1:N));
c13 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x13,d(1:N));
c23 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),x23,d(1:N));
c_1st = [c12; c13; c23];
```

% Обчислення значень апроксимуючих поліномів для тиску на виході

```
y12 = myfun(a12, [x1 x2]);
y13 = myfun(a13, [x1 x3]);
y23 = myfun(a23, [x2 x3]);
```

% Обчислення значень апроксимуючих поліномів для температури на виході

```
z12 = myfun(b12, [x1 x2]);
z13 = myfun(b13, [x1 x3]);
z23 = myfun(b23, [x2 x3]);
```

% Обчислення значень апроксимуючих поліномів для перепаду на конфузорі

Назаренко Ігор Вікторович ІФТУНГ

Продовження додатку Б

```
d12 = myfun(c12, [x1 x2]);
d13 = myfun(c13, [x1 x3]);
d23 = myfun(c23, [x2 x3]);

% Середньоквадратичні відхилення поліномів від еталонних значень

sigma_y12 = sqrt(sum((y - y12).^2)/length(y));
sigma_y13 = sqrt(sum((y - y13).^2)/length(y));
sigma_y23 = sqrt(sum((y - y23).^2)/length(y));
sigma_y_1st = [sigma_y12 sigma_y13 sigma_y23];
sigma_z12 = sqrt(sum((z - z12).^2)/length(z));
sigma_z13 = sqrt(sum((z - z13).^2)/length(z));
sigma_z23 = sqrt(sum((z - z23).^2)/length(z));
sigma_z_1st = [sigma_z12 sigma_z13 sigma_z23];

sigma_d12 = sqrt(sum((d - d12).^2)/length(d));
sigma_d13 = sqrt(sum((d - d13).^2)/length(d));
sigma_d23 = sqrt(sum((d - d23).^2)/length(d));
sigma_d_1st = [sigma_d12 sigma_d13 sigma_d23];

% - - - - - - - - - - - - - - Друга ітерація - - - - - - - - - - - - - - - - - -

% Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів для тиску

a1 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[y12(1:N) y23(1:N)],y(1:N));
a2 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[y12(1:N) y13(1:N)],y(1:N));
a3 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[y13(1:N) y23(1:N)],y(1:N));
a_2nd = [a1; a2; a3];
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФРТУНГ

Продовження додатку Б

```
% Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів для тиску для температури

b1 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[z12(1:N) z23(1:N)],z(1:N));
b2 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[z12(1:N) z13(1:N)],z(1:N));
b3 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[z13(1:N) z23(1:N)],z(1:N));
b_2nd = [b1; b2; b3];

% Визначення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів для перепаду на конфузорі

c1 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[d12(1:N) d23(1:N)],d(1:N));
c2 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[d12(1:N) d13(1:N)],d(1:N));
c3 = lsqcurvefit(@myfun,zeros(1,6),[d13(1:N) d23(1:N)],d(1:N));
c_2nd = [c1; c2; c3];

% Обчислення значень апроксимуючих поліномів

y1 = myfun(a1, [y12 y23]);
y2 = myfun(a2, [y12 y13]);
y3 = myfun(a3, [y13 y23]);

z1 = myfun(b1, [z12 z23]);
z2 = myfun(b2, [z12 z13]);
z3 = myfun(b2, [z13 z23]);

d1 = myfun(c1, [d12 d23]);
d2 = myfun(c2, [d12 d13]);
d3 = myfun(c2, [d13 d23]);
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

```
% Середньоквадратичні відхилення поліномів від еталонних значень

sigma_y1 = sqrt(sum((y - y1).^2)/length(y));
sigma_y2 = sqrt(sum((y - y2).^2)/length(y));
sigma_y3 = sqrt(sum((y - y3).^2)/length(y));
sigma_y_2nd = [sigma_y1 sigma_y2 sigma_y3];

sigma_z1 = sqrt(sum((z - z1).^2)/length(z));
sigma_z2 = sqrt(sum((z - z2).^2)/length(z));
sigma_z3 = sqrt(sum((z - z3).^2)/length(z));
sigma_z_2nd = [sigma_z1 sigma_z2 sigma_z3];

sigma_d1 = sqrt(sum((d - d1).^2)/length(d));
sigma_d2 = sqrt(sum((d - d2).^2)/length(d));
sigma_d3 = sqrt(sum((d - d3).^2)/length(d));
sigma_d_2nd = [sigma_d1 sigma_d2 sigma_d3];

% Графіки

i = (1:N);

plot(i, y, i, y3), grid;
xlim([0 N]); figure;

plot(i, z, i, z1), grid;
xlim([0 N]); figure;

plot(i, d, i, d2), grid;
xlim([0 N]);
```

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

% Лістинг 5 – Програма для блоку «Розрахунок»

```
function [Pvyh, Tvyh, dP] = F(Pvh, Tvh, N)

% Використовується метод групового обліку аргументів
% Pvh – Тиск газу на вході в нагнітач
% Tvh – Температура газу на вході в нагнітач
% N – Оберти нагнітача

% Тиск
%-----------------------------------------

aPN = [0.055057216854257   0.985451836548602  -0.007992668494920 ...
0.000109646472252 0.000685139307610   0.000001410140111];
aTN = [3.501338767183844  -0.052267370075987   0.015585031034252 ...
-0.000195412507309 0.014873941618501  -0.000000678595129];
aPNTN = [0.307280744812314   1.043581754957738  -0.065098002123334 ...
0.002440332212594  -0.001792166499577  -0.000320084897135];

PvyhPN = aPN(1) + aPN(2)*Pvh + aPN(3)*N + aPN(4)*Pvh*N + ...
aPN(5)*Pvh^2 + aPN(6)*N^2;
PvyhTN = aTN(1) + aTN(2)*Tvh + aTN(3)*N + aTN(4)*Tvh*N + ...
aTN(5)*Tvh^2 + aTN(6)*N^2;

Pvyh = aPNTN(1) + aPNTN(2)*PvyhPN + aPNTN(3)*PvyhTN + ...
aPNTN(4)*PvyhPN*PvyhTN + aPNTN(5)*PvyhPN^2 + aPNTN(6)*PvyhTN^2;

% Температура
%-----------------------------------------
```

Назаренко Ігор Вікторович ФПТУНТ

Продовження додатку Б

```
bPT = [8.104564119346907  -0.637307013567753   1.746863276311758 ...
 0.052894063583727  -0.000849012184988  -0.050791585815660];
bTN = [0.064912966302034   1.040707936692217  -0.004451292542223 ...
-0.000039124941746  -0.000547026898897   0.000002202660393];
bPTTN = [0.105689240719300   0.636558294202051   0.343384467887869 ...
0.073207582596218  -0.041367170004717  -0.031317994320964];

TvyhPT = bPT(1) + bPT(2)*Pvh + bPT(3)*Tvh + bPT(4)*Pvh*Tvh + ...
bPT(5)*Pvh^2 + bPT(6)*Tvh^2;

TvyhTN = bTN(1) + bTN(2)*Tvh + bTN(3)*N + bTN(4)*Tvh*N + ...
bTN(5)*Tvh^2 + bTN(6)*N^2;
Tvyh = bPTTN(1) + bPTTN(2)*TvyhPT + bPTTN(3)*TvyhTN + ...
bPTTN(4)*TvyhPT*TvyhTN + bPTTN(5)*TvyhPT^2 + bPTTN(6)*TvyhTN^2;

% Перепад тиску на конфузорі

cPT = [0.046490122478537   0.015096354120029   0.005641647694424 ...
0.000496073085187  -0.000405902160727  -0.000573492223801];
cPN = [0.004130590998585   0.001833278940799   0.000544034147566 ...
-0.000003294659593  -0.000075196916405  -0.000000083576501];
cPTPN = [0.000874825122445   0.455986171082397   0.388182288440523 ...
0.808055437147154  -1.214619317589726   0.916075080150286];
dPPT = cPT(1) + cPT(2)*Pvh + cPT(3)*Tvh + cPT(4)*Pvh*Tvh + ...

cPT(5)*Pvh^2 + cPT(6)*Tvh^2;
dPPN = cPN(1) + cPN(2)*Pvh + cPN(3)*N + cPN(4)*Pvh*N + ...
cPN(5)*Pvh^2 + cPN(6)*N^2;
dP = cPTPN(1) + cPTPN(2)*dPPT + cPTPN(3)*dPPN + ...
cPTPN(4)*dPPT*dPPN + cPTPN(5)*dPPT^2 + cPTPN(6)*dPPN^2;
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

% Лістинг 6 – Алгоритм перевірки на аномальність

```
alpha = 0.01;
Delta1 = [-0.176 -0.272 -0.189 -0.381 -0.674 0.017 -0.048 0.223 0.877 0.323 1.94
0.345 0.366 0.269 -0.418 0.028 -0.302 0.279 -0.073 -0.258 -0.289];
n = length(Delta1);

plot(Delta1), grid;
xlim([1 n]);

Deltac = max(abs(Delta1));
pos = find(abs(Delta1) == Deltac);
Deltac = Delta1(pos);
Delta2 = Delta1(Delta1 ~= Deltac);
Delta2av = sum(Delta2) / (n - 1);
Delta2var = sqrt(sum((Delta2 - Delta2av).^2) / (n - 1));

t1 = abs((Delta2av - Deltac)) * sqrt(n - 1) / Delta2var;
t1c = tinv(1 - alpha/2, n - 2);

if(t1 <= t1c)
disp('Аномальність ВІДСУТНЯ')
else disp('Аномальність НАЯВНА')
end;
```

% Лістинг 7 – Функція визначення коефіцієнта кореляції

```
function r = crl(x, y, n)
r = (n * sum(x .* y) - sum(x) * sum(y)) / (sqrt((n * sum(x .^ 2) - (sum(x)) ^ 2) * (n *
sum(y .^ 2) - (sum(y)) ^ 2)));
```

Назаренко Ігор Вікторович ФНТУНГ

Продовження додатку Б

% Лістинг 8 – Алгоритм перевірки на наявність тренду

```
alpha = 0.01;

Delta2 = [-0.176 -0.122 0.111 0.069 -0.074 0.767 0.852 1.273 2.077 1.673 1.894
1.995 2.166 2.219 1.682 2.278 2.098 2.829 2.627 2.592];

n = length(Delta2);
i = 1:n;

plot(Delta2), grid;
xlim([1 n]);

r = crl(Delta2, i, n);
t = r * sqrt((n - 2) / (1 - r ^ 2));
tc = tinv(1 - alpha/2, n - 1);

        if (abs(t) <= tc)
        disp('Тренд ВІДСУТНІЙ');
else
        disp('Тренд НАЯВНИЙ');
end;
```

% Лістинг 9 – Модифікований алгоритм перевірки на аномальність

```
function [pos, Deltac, t, tc, anomaly] = fcn(Delta1, alpha)

%#codegen

n = length(Delta1);
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

```
Deltac = max(abs(Delta1));

i = 1;

    while (abs(Delta1(i)) ~= Deltac)
        i = i + 1;
    end;

pos = i;

Deltac = Delta1(pos);
Delta2 = Delta1(Delta1 ~= Deltac);
Delta2av = sum(Delta2) / (n - 1);
Delta2var = sqrt(sum((Delta2 - Delta2av).^2) / (n - 1));

coder.extrinsic('tinv');

t = abs((Delta2av - Deltac)) * sqrt(n - 1) / Delta2var;
tc = 0; tc = tinv(1 - alpha/2, n - 2);

if (t <= tc)
    anomaly = 0;
else anomaly = 1;
end;
```

% Лістинг 10 – Модифікований алгоритм перевірки на наявність тренду

```
function [r, t, tc, trend] = fcn(Delta2, alpha)
```

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

```
%#codegen

i1 = length(Delta2);
t1 = 1:i1;
r = crl(Delta2, t1', i1);
t = r * sqrt((i1 - 2) / (1 - r ^ 2));

coder.extrinsic('tinv');

tc = 0;
tc = tinv(1 - alpha/2, i1 - 1);

if (abs(t) <= tc)
        trend = 0;
else trend = 1;
end;
```

% Лістинг 11 – Програма для розрахунку комерційної продуктивності

```
function [Q_com, Q_v, Q_pr] = fcn(P_in, P_a, T_in, N, N_n, delta, dP)

%#codegen

A = 128.8;

    P_kr = 4.67 - 0.1 * delta;
    T_kr = 99.8 + 162.8 * delta;

    pi = (0.09807 * P_in + 1.33e-4 * P_a) / P_kr;
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Б

```
    tau = (T_in + 273.15) / T_kr;

    a = (0.1237 * tau^3 - 0.3468 * tau^2 - 0.1188) * pi / tau^4;
    b = (0.0291 * tau^3 - 0.0273 * tau^2 - 0.039) * pi^2 / tau^5;

% Формула Кардано для кубічного рівняння Z^3 - Z^2 - a * Z - b = 0
% Розрахунок коефіцієнтів p, q канонічної форми

    p = (-3 * a - 1) / 3;
    q = (-2 - 9 * a + - 27 * b) / 27;

% Розрахунок Q

    Q = (p / 3)^3 + (q / 2)^2;

    alpha = (-q / 2 + sqrt(complex(Q))) ^ (1 / 3);
    beta = (-q / 2 - sqrt(complex(Q))) ^ (1 / 3);
%-------------------------------------------------------------

    Z = real(alpha + beta + 1 / 3);
    R = 29.27 / delta;

    ro = P_in * 10^4 / (R * Z * (273.15 + T_in))
    ro_n = 1.206 * delta

    l = 1 - 1.102e-3 * 735.6 * dP / P_in;

Q_com = 1.44e-3 * A * l * sqrt(ro * dP*735.6) / ro_n;
Q_v = A * l * sqrt(dP*735.6 / ro);
Q_pr = N_n * Q_v / N;
```

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

ДОДАТОК В

ПРОЦЕДУРА ОРГАНІЗАЦІЇ ДВОНАПРАВЛЕНОЇ КОМУНІКАЦІЇ МІЖ SIMULINK-МОДЕЛЯМИ АСК І SCADA

При першому використанні OPC-комунікації в середовищі «MatLab» необхідно запустити «OPC Foundation files», що виконується за допомогою команди opcregister.

Далі описана і апробована процедура створення моделі у середовищі «Simulink» і організації OPC-комунікації з людино-манинним інтерфейсом на базі SCADA WinCC.

Процедури створення OPC-комунікації окремо для «MatLab» і різного типу SCADA-систем є типовими, а для двонаправленої OPC- комунікації між «Simulink» і SCADA WinCC – має особливості в організації і потребує апробації та відпрацювання. Дана процедура включає наступні дії:

- включення в модель блоку «OPC Configuration» з бібліотеки «OPC Toolbox» та його параметрування (рис. В.1 і В.2). Даний компонент визначає загальні параметри підключення моделі до OPC-сервера;

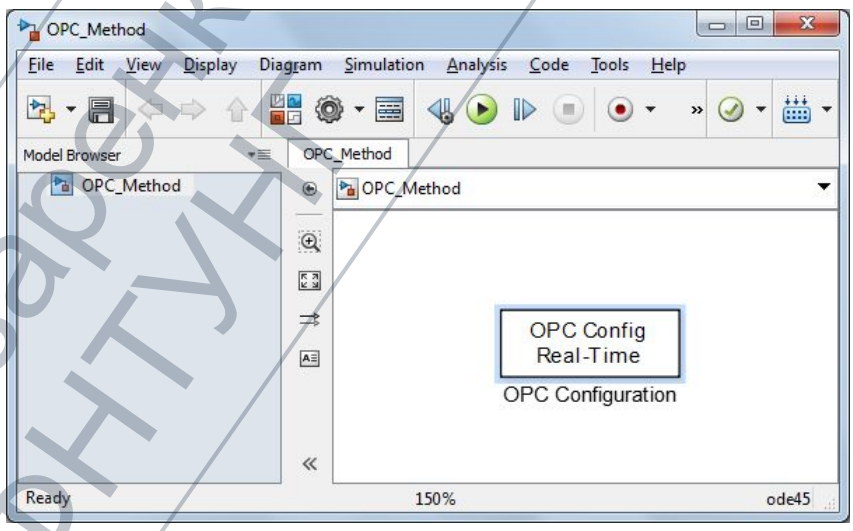


Рисунок В.1 – Включення в модель блоку «OPC Configuration»

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку В

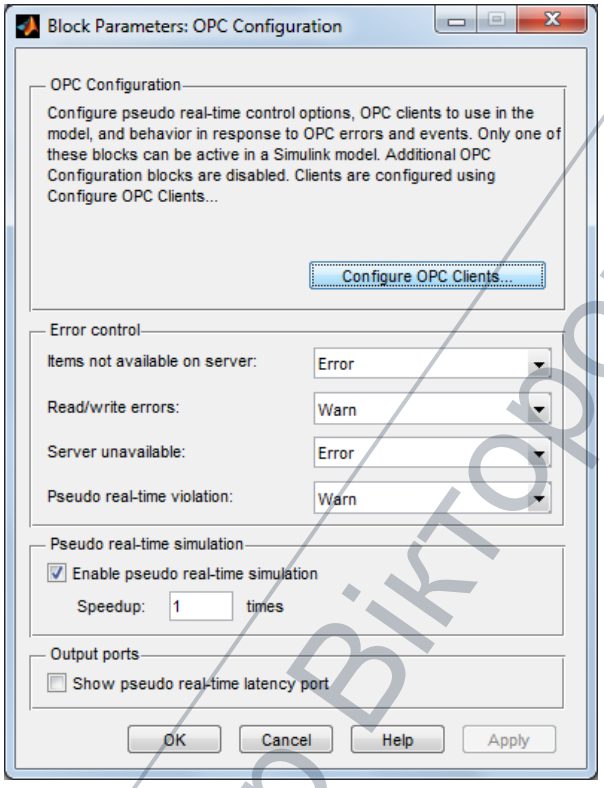


Рисунок В.2 – Параметрування блоку «OPC Configuration»

- вибір опції «Configure OPC Clients…» (див. рис. В.2), після чого виводиться вікно налаштування OPC-клієнтів (рис. В.3);

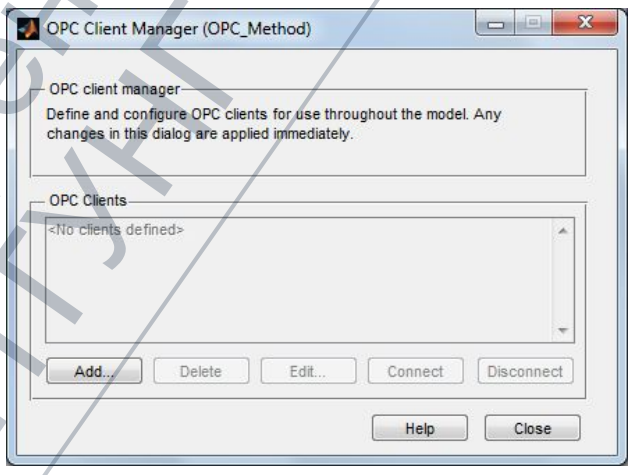


Рисунок В.3 – Вивід вікна «OPC Client Manager»

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку В

- далі додається новий OPC-клієнт через опцію «Add…». Виводиться вікно налашутвання хоста та сервера, в якому вибрається опція «Select…» для вибору одного із доступних OPC-серверів (рис. В.4);

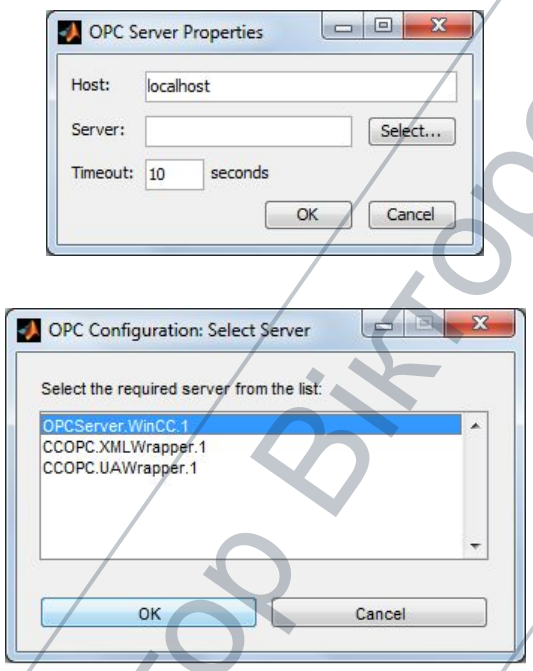


Рисунок В.4 – Процес параметрування OPC-сервера (OPCServer.WinCC)

- включення в модель блоків «OPC Read» та «OPC Write», які відповідають відповідно за зчитування інформації з OPC-сервера та запису (передачі);

- до виходу «V» блоку OPC Read приєднаємо дисплей, який буде відображати зчитане значення;

- до входу блоку OPC Write під’єднується блок «Constant», значення якого буде записано в змінну OPC-сервера (рис. В.5).

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Продовження додатку В

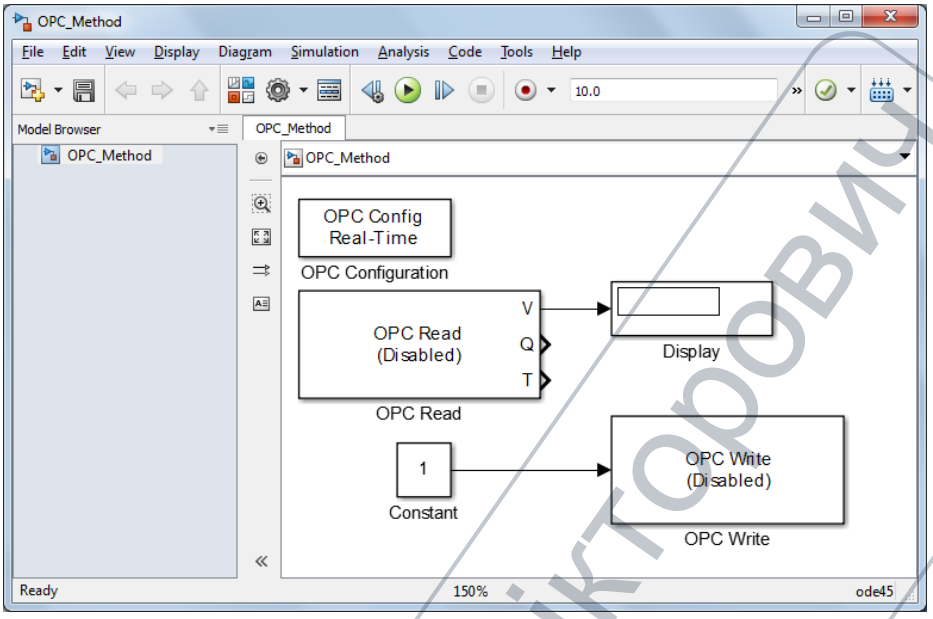


Рисунок В.5 –Simulink-модель з блоками «OPC Read» та «OPC Write»

- налаштування блока «OPC Read» (на рис. В.6 зображено вікно його властивостей, а опція «Add items…» застосовується для задання змінної «In», значення якої необхідно зчитати з сервера, (рис. В.7));

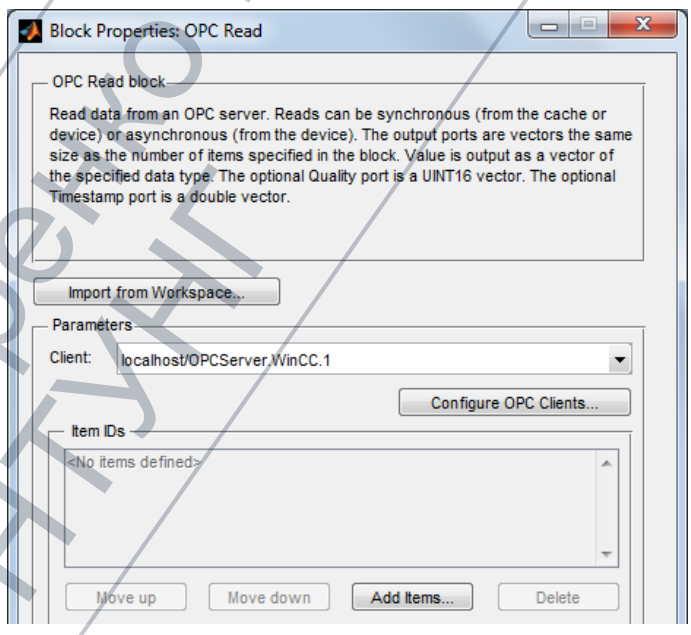


Рисунок В.6 – Параметрування блоку «OPC Read»

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку В

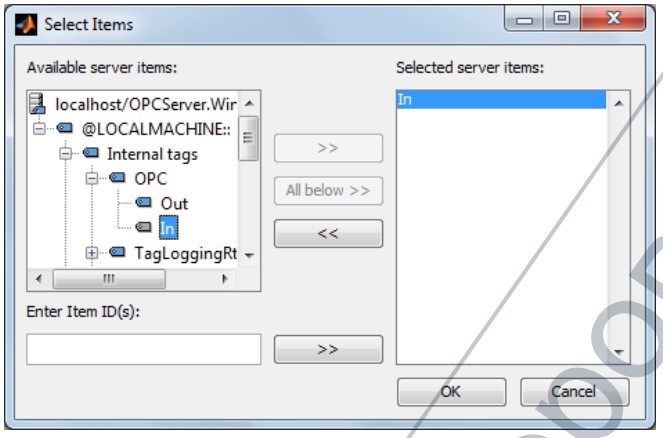


Рисунок В.7 – Процес задання змінної «In» для зчитування з OPC-сервера

- аналогічним чином параметрується блок «OPC Write» (на рис. В.8 зображено вікно його властивостей, а опція «Add items…» застосовується для задання змінної «Out», значення якої необхідно записати в OPC-сервер (рис. В.9));

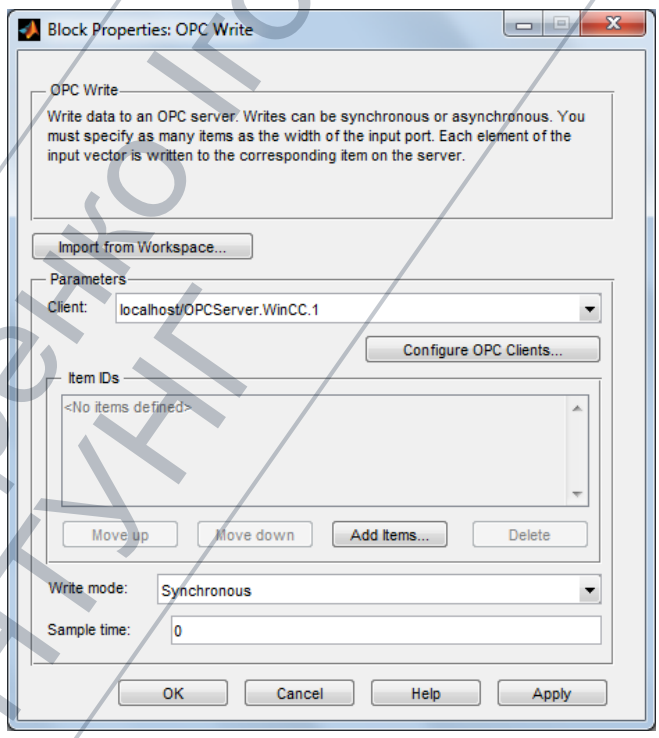


Рисунок В.8 – Параметрування блоку «OPC Write»

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Продовження додатку В

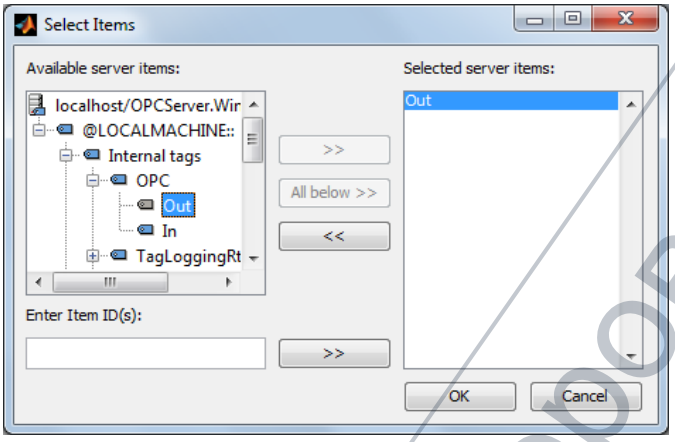


Рисунок В.9 – Процес задання змінної для запису OPC-сервер

- для завершення процедури організації OPC-комунікації між Simulink-моделлю і SCADA WinCC параметрується час симуляції у значення «inf», після чого модель підготовлена до запуску (рис. В.10).

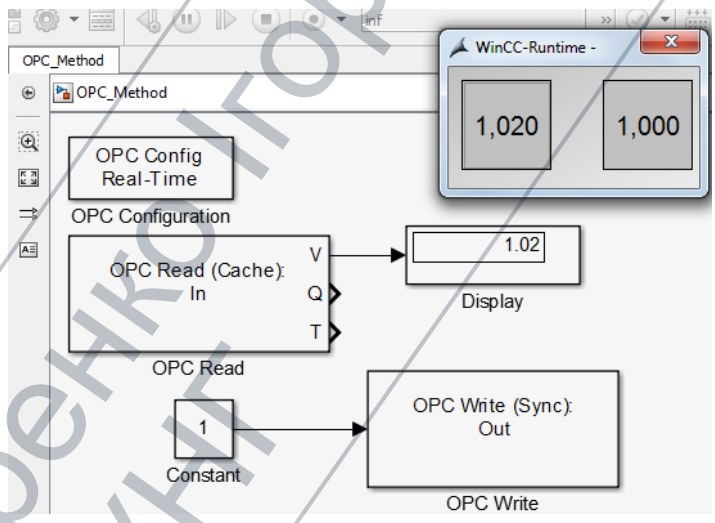


Рисунок В.10 – OPC-комунікація між Simulink-моделлю і SCADA WinCC в режимі «run-time»

Таким чином, введені в «WinCC Runtime» дані передаються і відображаються в Simulink-моделі, а дані з Simulink-моделі передаються і відображаються в «WinCC Runtime» в реальному часі.

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

ДОДАТОК Г

ФРАГМЕНТ ВИБІРКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ САК ГПА КС «БЕРДИЧІВ»

Таблиця Г.1 - Фрагмент вибірки експериментальних даних технологічних параметрів САК ГПА КС «Бердичів»

Дата і час	$P_{вх}$, кгс/см^2	$T_{вх}$, ºС	Оберти, об/хв	$P_{вих}$, кгс/см^2	$T_{вих}$, ºС	ΔP, кгс/см^2
05.02.2014 08:00:01	36,435	18,800	4101	44,282	34,700	0,300
05.02.2014 08:00:02	36,466	18,800	4098	44,286	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:03	36,424	18,800	4103	44,293	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:04	36,446	18,800	4100	44,277	34,700	0,297
05.02.2014 08:00:05	36,459	18,800	4099	44,277	34,700	0,304
05.02.2014 08:00:06	36,437	18,800	4101	44,279	34,700	0,297
05.02.2014 08:00:07	36,422	18,800	4097	44,279	34,700	0,302
05.02.2014 08:00:08	36,446	18,800	4097	44,282	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:09	36,455	18,800	4096	44,271	34,700	0,301
05.02.2014 08:00:10	36,411	18,800	4100	44,279	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:11	36,439	18,800	4096	44,286	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:12	36,459	18,800	4098	44,277	34,700	0,303
05.02.2014 08:00:13	36,450	18,800	4100	44,264	34,700	0,294
05.02.2014 08:00:14	36,444	18,800	4100	44,271	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:15	36,444	18,800	4098	44,275	34,700	0,297
05.02.2014 08:00:16	36,455	18,800	4101	44,266	34,700	0,299
05.02.2014 08:00:17	36,411	18,800	4097	44,253	34,700	0,300
05.02.2014 08:00:18	36,444	18,800	4101	44,266	34,700	0,300
05.02.2014 08:00:19	36,407	18,800	4099	44,255	34,700	0,296
05.02.2014 08:00:20	36,446	18,800	4099	44,266	34,700	0,297
05.02.2014 08:00:21	36,411	18,800	4100	44,264	34,700	0,299
05.02.2014 08:00:22	36,413	18,800	4100	44,249	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:23	36,391	18,800	4099	44,255	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:24	36,411	18,800	4098	44,244	34,700	0,301
05.02.2014 08:00:25	36,457	18,800	4098	44,253	34,700	0,297
05.02.2014 08:00:26	36,435	18,800	4100	44,247	34,700	0,294
05.02.2014 08:00:27	36,437	18,800	4100	44,244	34,700	0,295
05.02.2014 08:00:28	36,428	18,800	4100	44,236	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:29	36,400	18,800	4100	44,242	34,700	0,297
05.02.2014 08:00:30	36,411	18,800	4098	44,255	34,700	0,295
05.02.2014 08:00:31	36,455	18,800	4099	44,236	34,700	0,299
05.02.2014 08:00:32	36,391	18,800	4099	44,238	34,700	0,298
05.02.2014 08:00:33	36,391	18,800	4098	44,233	34,700	0,300
05.02.2014 08:00:34	36,407	18,800	4100	44,238	34,700	0,296
05.02.2014 08:00:35	36,378	18,800	4101	44,231	34,700	0,296
05.02.2014 08:00:36	36,422	18,800	4099	44,216	34,700	0,296
05.02.2014 08:00:37	36,428	18,800	4100	44,227	34,700	0,298

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження табл. Г1

Дата і час	$P_{вх}$, кгс/см^2	$T_{вх}$, ºC	Оберти, об/хв	$P_{вих}$, кгс/см^2	$T_{вих}$, ºC	ΔP, кгс/см^2
05.02.2014 08:00:38	36,413	18,800	4098	44,220	34,700	0,294
05.02.2014 08:00:39	36,393	18,800	4101	44,225	34,700	0,295
05.02.2014 08:00:40	36,358	18,800	4101	44,220	34,700	0,297
05.02.2014 08:00:41	36,435	18,800	4101	44,209	34,700	0,293
05.02.2014 08:00:42	36,415	18,800	4096	44,209	34,700	0,292
05.02.2014 08:00:43	36,374	18,800	4097	44,214	34,700	0,287
05.02.2014 08:00:44	36,389	18,800	4099	44,214	34,700	0,296
05.02.2014 08:00:45	36,422	18,800	4096	44,209	34,700	0,292
05.02.2014 08:00:46	36,396	18,800	4102	44,209	34,700	0,285
05.02.2014 08:00:47	36,422	18,800	4102	44,203	34,700	0,284
05.02.2014 08:00:48	36,396	18,800	4098	44,209	34,700	0,285
05.02.2014 08:00:49	36,444	18,800	4100	44,201	34,700	0,286
05.02.2014 08:00:50	36,400	18,800	4099	44,201	34,700	0,283
05.02.2014 08:00:51	36,369	18,800	4099	44,188	34,700	0,288
05.02.2014 08:00:52	36,369	18,800	4098	44,183	34,700	0,285
05.02.2014 08:00:53	36,422	18,800	4099	44,198	34,700	0,281
05.02.2014 08:00:54	36,393	18,800	4101	44,188	34,700	0,285
05.02.2014 08:00:55	36,389	18,800	4102	44,188	34,700	0,285
05.02.2014 08:00:56	36,400	18,800	4101	44,192	34,700	0,284
05.02.2014 08:00:57	36,367	18,800	4102	44,190	34,700	0,291
05.02.2014 08:00:58	36,385	18,800	4099	44,183	34,700	0,287
05.02.2014 08:00:59	36,363	18,800	4097	44,190	34,700	0,287
05.02.2014 08:01:00	36,378	18,800	4101	44,198	34,700	0,287
05.02.2014 08:01:01	36,402	18,800	4100	44,194	34,700	0,287
05.02.2014 08:01:02	36,345	18,800	4099	44,190	34,700	0,289
05.02.2014 08:01:03	36,400	18,800	4101	44,192	34,700	0,289
05.02.2014 08:01:04	36,428	18,800	4097	44,190	34,700	0,289
05.02.2014 08:01:05	36,396	18,800	4100	44,183	34,700	0,292
05.02.2014 08:01:06	36,369	18,800	4102	44,172	34,700	0,291
05.02.2014 08:01:07	36,389	18,800	4101	44,183	34,700	0,296
05.02.2014 08:01:08	36,411	18,800	4101	44,188	34,700	0,295
05.02.2014 08:01:09	36,383	18,800	4099	44,183	34,700	0,296
05.02.2014 08:01:10	36,358	18,800	4101	44,172	34,700	0,295
05.02.2014 08:01:11	36,400	18,800	4100	44,179	34,700	0,292
05.02.2014 08:01:12	36,400	18,800	4100	44,181	34,700	0,294
05.02.2014 08:01:13	36,422	18,800	4100	44,194	34,700	0,294
05.02.2014 08:01:14	36,468	18,800	4097	44,190	34,700	0,295
05.02.2014 08:01:15	36,533	18,800	4099	44,181	34,700	0,291
05.02.2014 08:01:16	36,483	18,800	4097	44,190	34,700	0,297
05.02.2014 08:01:17	36,542	18,800	4100	44,190	34,700	0,289
05.02.2014 08:01:18	36,523	18,800	4101	44,179	34,700	0,296
05.02.2014 08:01:19	36,577	18,800	4100	44,183	34,700	0,296
05.02.2014 08:01:20	36,586	18,800	4101	44,183	34,700	0,295
05.02.2014 08:01:21	36,621	18,800	4099	44,177	34,800	0,295

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Продовження табл. Г1

Дата і час	$P_{вх}$, кгс/см^2	$T_{вх}$, °C	Оберти, об/хв	$P_{вих}$, кгс/см^2	$T_{вих}$, °C	ΔP, кгс/см^2
05.02.2014 08:01:22	36,610	18,800	4099	44,183	34,800	0,295
05.02.2014 08:01:23	36,625	18,800	4099	44,188	34,800	0,295
05.02.2014 08:01:24	36,597	18,800	4102	44,177	34,800	0,293
05.02.2014 08:01:25	36,564	18,800	4099	44,172	34,800	0,294
05.02.2014 08:01:26	36,619	18,800	4100	44,179	34,800	0,289
05.02.2014 08:01:27	36,608	18,800	4100	44,172	34,800	0,294
05.02.2014 08:01:28	36,571	18,800	4102	44,172	34,800	0,298
05.02.2014 08:01:29	36,610	18,800	4099	44,192	34,800	0,295
05.02.2014 08:01:30	36,588	18,800	4098	44,179	34,800	0,291
05.02.2014 08:01:31	36,621	18,800	4102	44,177	34,800	0,295
05.02.2014 08:01:32	36,599	18,800	4101	44,190	34,800	0,296
05.02.2014 08:01:33	36,603	18,800	4101	44,212	34,800	0,293
05.02.2014 08:01:34	36,568	18,800	4102	44,233	34,800	0,299
05.02.2014 08:01:35	36,612	18,800	4102	44,255	34,800	0,293
05.02.2014 08:01:36	36,577	18,800	4101	44,286	34,800	0,289
05.02.2014 08:01:37	36,586	18,800	4102	44,321	34,800	0,292
05.02.2014 08:01:38	36,586	18,800	4101	44,341	34,800	0,288
05.02.2014 08:01:39	36,575	18,800	4098	44,380	34,800	0,293
05.02.2014 08:01:40	36,538	18,800	4103	44,408	34,800	0,289
05.02.2014 08:01:41	36,516	18,800	4101	44,435	34,800	0,290
05.02.2014 08:01:42	36,509	18,800	4100	44,463	34,800	0,287
05.02.2014 08:01:44	36,536	18,800	4100	44,494	34,800	0,288
05.02.2014 08:01:45	36,542	18,800	4100	44,516	34,800	0,289
05.02.2014 08:01:46	36,553	18,800	4100	44,533	34,800	0,291
05.02.2014 08:01:47	36,533	18,800	4102	44,531	34,800	0,289
05.02.2014 08:01:48	36,555	18,800	4096	44,538	34,800	0,295
05.02.2014 08:01:49	36,488	18,800	4102	44,540	34,800	0,289
05.02.2014 08:01:50	36,520	18,800	4096	44,542	34,800	0,290
05.02.2014 08:01:51	36,498	18,800	4099	44,527	34,800	0,288
05.02.2014 08:01:52	36,490	18,800	4101	44,522	34,800	0,288
05.02.2014 08:01:53	36,509	18,800	4099	44,529	34,800	0,294
05.02.2014 08:01:54	36,505	18,800	4099	44,522	34,800	0,293
05.02.2014 08:01:55	36,498	18,800	4102	44,518	34,800	0,290
05.02.2014 08:01:56	36,481	18,800	4099	44,498	34,800	0,290
05.02.2014 08:01:57	36,509	18,800	4100	44,489	34,800	0,296
05.02.2014 08:01:58	36,479	18,800	4101	44,478	34,800	0,291
05.02.2014 08:01:59	36,520	18,800	4097	44,472	34,800	0,294
05.02.2014 08:02:00	36,488	18,800	4101	44,463	34,800	0,298
05.02.2014 08:02:01	36,490	18,800	4105	44,454	34,800	0,294
05.02.2014 08:02:02	36,494	18,800	4097	44,441	34,800	0,290
05.02.2014 08:02:03	36,461	18,800	4101	44,435	34,800	0,297
05.02.2014 08:02:04	36,501	18,800	4097	44,430	34,800	0,294
05.02.2014 08:02:05	36,483	18,800	4098	44,417	34,800	0,290
05.02.2014 08:02:06	36,520	18,800	4101	44,417	34,800	0,298

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження табл. Г1

Дата і час	$P_{вх}$, кгс/см^2	$T_{вх}$, °С	Оберти, об/хв	$P_{вих}$, кгс/см^2	$T_{вих}$, °С	ΔP, кгс/см^2
05.02.2014 08:02:07	36,505	18,800	4102	44,413	34,800	0,292
05.02.2014 08:02:08	36,509	18,800	4100	44,417	34,800	0,291
05.02.2014 08:02:09	36,531	18,800	4099	44,387	34,800	0,297
05.02.2014 08:02:10	36,516	18,800	4097	44,378	34,800	0,292
05.02.2014 08:02:11	36,549	18,800	4101	44,384	34,800	0,293
05.02.2014 08:02:12	36,514	18,800	4100	44,373	34,800	0,289
05.02.2014 08:02:13	36,564	18,800	4101	44,365	34,800	0,295
05.02.2014 08:02:14	36,520	18,800	4099	44,367	34,800	0,293
05.02.2014 08:02:15	36,586	18,800	4100	44,358	34,800	0,294
05.02.2014 08:02:16	36,577	18,800	4096	44,343	34,800	0,292
05.02.2014 08:02:17	36,586	18,800	4096	44,341	34,800	0,294
05.02.2014 08:02:18	36,593	18,800	4100	44,341	34,800	0,295
05.02.2014 08:02:19	36,575	18,800	4100	44,325	34,800	0,294
05.02.2014 08:02:20	36,553	18,800	4102	44,325	34,800	0,297
05.02.2014 08:02:21	36,553	18,800	4100	44,330	34,800	0,294
05.02.2014 08:02:22	36,597	18,800	4100	44,314	34,800	0,297
05.02.2014 08:02:23	36,555	18,800	4098	44,325	34,800	0,297
05.02.2014 08:02:24	36,555	18,800	4100	44,323	34,800	0,294
05.02.2014 08:02:25	36,520	18,800	4100	44,321	35,300	0,296
05.02.2014 08:02:26	36,564	18,800	4103	44,303	35,300	0,299
05.02.2014 08:02:27	36,509	18,800	4100	44,303	35,300	0,297
05.02.2014 08:02:28	36,542	18,800	4099	44,308	35,300	0,292
05.02.2014 08:02:29	36,571	18,800	4101	44,308	35,300	0,299
05.02.2014 08:02:30	36,544	18,800	4097	44,325	35,300	0,297
05.02.2014 08:02:31	36,582	18,800	4100	44,325	35,300	0,299
05.02.2014 08:02:32	36,590	18,800	4103	44,352	35,300	0,292
05.02.2014 08:02:33	36,590	18,800	4099	44,384	35,300	0,294
05.02.2014 08:02:34	36,564	18,800	4098	44,395	35,300	0,297
05.02.2014 08:02:35	36,531	18,800	4101	44,424	35,300	0,293
05.02.2014 08:02:36	36,553	18,800	4099	44,450	35,300	0,294
05.02.2014 08:02:37	36,575	18,800	4098	44,446	35,300	0,300
05.02.2014 08:02:38	36,544	18,800	4103	44,452	35,300	0,295
05.02.2014 08:02:39	36,498	18,800	4101	44,461	35,300	0,296
05.02.2014 08:02:40	36,586	18,800	4101	44,474	35,300	0,294
05.02.2014 08:02:41	36,523	18,800	4103	44,457	35,300	0,295
05.02.2014 08:02:42	36,553	18,800	4098	44,463	35,300	0,294
05.02.2014 08:02:43	36,527	18,800	4100	44,463	35,300	0,292
05.02.2014 08:02:44	36,566	18,800	4095	44,461	35,300	0,296
05.02.2014 08:02:45	36,514	18,800	4101	44,457	35,300	0,297
05.02.2014 08:02:46	36,586	18,800	4100	44,463	35,300	0,293
05.02.2014 08:02:47	36,538	18,800	4102	44,452	35,300	0,293
05.02.2014 08:02:48	36,523	18,800	4098	44,452	35,300	0,296
05.02.2014 08:02:49	36,549	18,800	4099	44,446	35,300	0,299
05.02.2014 08:02:50	36,505	18,800	4101	44,446	35,300	0,294

Назаренко Ігор Вікторович
ІФНТУНГ

Продовження табл. Г1

Дата і час	$P_{вх}$, кгс/см^2	$T_{вх}$, °C	Оберти, об/хв	$P_{вих}$, кгс/см^2	$T_{вих}$, °C	ΔP, кгс/см^2
05.02.2014 08:02:51	36,536	18,800	4098	44,433	35,300	0,300
05.02.2014 08:02:52	36,549	18,800	4101	44,435	35,300	0,299
05.02.2014 08:02:53	36,531	18,800	4102	44,417	35,300	0,297
05.02.2014 08:02:54	36,577	18,800	4099	44,433	35,300	0,296
05.02.2014 08:02:55	36,523	18,800	4101	44,428	35,300	0,292
05.02.2014 08:02:56	36,498	18,800	4098	44,422	35,300	0,299
05.02.2014 08:02:57	36,498	18,800	4102	44,422	35,300	0,298
05.02.2014 08:02:58	36,527	18,800	4094	44,413	35,300	0,298
05.02.2014 08:02:59	36,498	18,800	4101	44,406	35,300	0,297
05.02.2014 08:03:00	36,523	18,800	4103	44,408	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:01	36,468	18,800	4099	44,395	35,300	0,296
05.02.2014 08:03:02	36,483	18,800	4100	44,395	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:03	36,536	18,800	4102	44,395	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:04	36,512	18,800	4100	44,395	35,300	0,299
05.02.2014 08:03:05	36,498	18,800	4101	44,387	35,300	0,296
05.02.2014 08:03:06	36,533	18,800	4101	44,384	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:07	36,544	18,800	4099	44,378	35,300	0,301
05.02.2014 08:03:08	36,498	18,800	4101	44,365	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:09	36,512	18,800	4097	44,363	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:10	36,523	18,800	4102	44,373	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:11	36,488	18,800	4099	44,367	35,300	0,294
05.02.2014 08:03:12	36,555	18,800	4099	44,358	35,300	0,296
05.02.2014 08:03:13	36,494	18,800	4103	44,363	35,300	0,294
05.02.2014 08:03:14	36,494	18,800	4101	44,363	35,300	0,296
05.02.2014 08:03:15	36,520	18,800	4104	44,365	35,300	0,295
05.02.2014 08:03:16	36,498	18,800	4101	44,352	35,300	0,294
05.02.2014 08:03:17	36,483	18,800	4103	44,354	35,300	0,297
05.02.2014 08:03:18	36,501	18,800	4098	44,347	35,300	0,295
05.02.2014 08:03:19	36,523	18,800	4100	44,354	35,300	0,297
05.02.2014 08:03:20	36,501	18,800	4098	44,352	35,300	0,293
05.02.2014 08:03:21	36,490	18,800	4101	44,347	35,300	0,299
05.02.2014 08:03:22	36,505	18,800	4101	44,352	35,300	0,292
05.02.2014 08:03:23	36,492	18,800	4102	44,352	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:24	36,488	18,800	4108	44,352	35,300	0,299
05.02.2014 08:03:25	36,549	18,800	4096	44,336	35,300	0,296
05.02.2014 08:03:26	36,520	18,800	4099	44,341	35,300	0,296
05.02.2014 08:03:27	36,477	18,800	4102	44,352	35,300	0,297
05.02.2014 08:03:28	36,555	18,800	4100	44,332	35,300	0,293
05.02.2014 08:03:29	36,490	18,800	4096	44,341	35,300	0,294
05.02.2014 08:03:30	36,481	18,800	4102	44,336	35,300	0,295
05.02.2014 08:03:31	36,490	18,800	4107	44,334	35,300	0,298
05.02.2014 08:03:32	36,516	18,800	4108	44,330	35,300	0,300
05.02.2014 08:03:33	36,555	18,800	4098	44,330	35,300	0,297

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

ДОДАТОК Д
БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ВИКОНАВЧИМ МЕХАНІЗМОМ ЕППУ-4-1 З ПОСТІЙНИМ КОНТРОЛЕМ КІЛ КЕРУВАННЯ

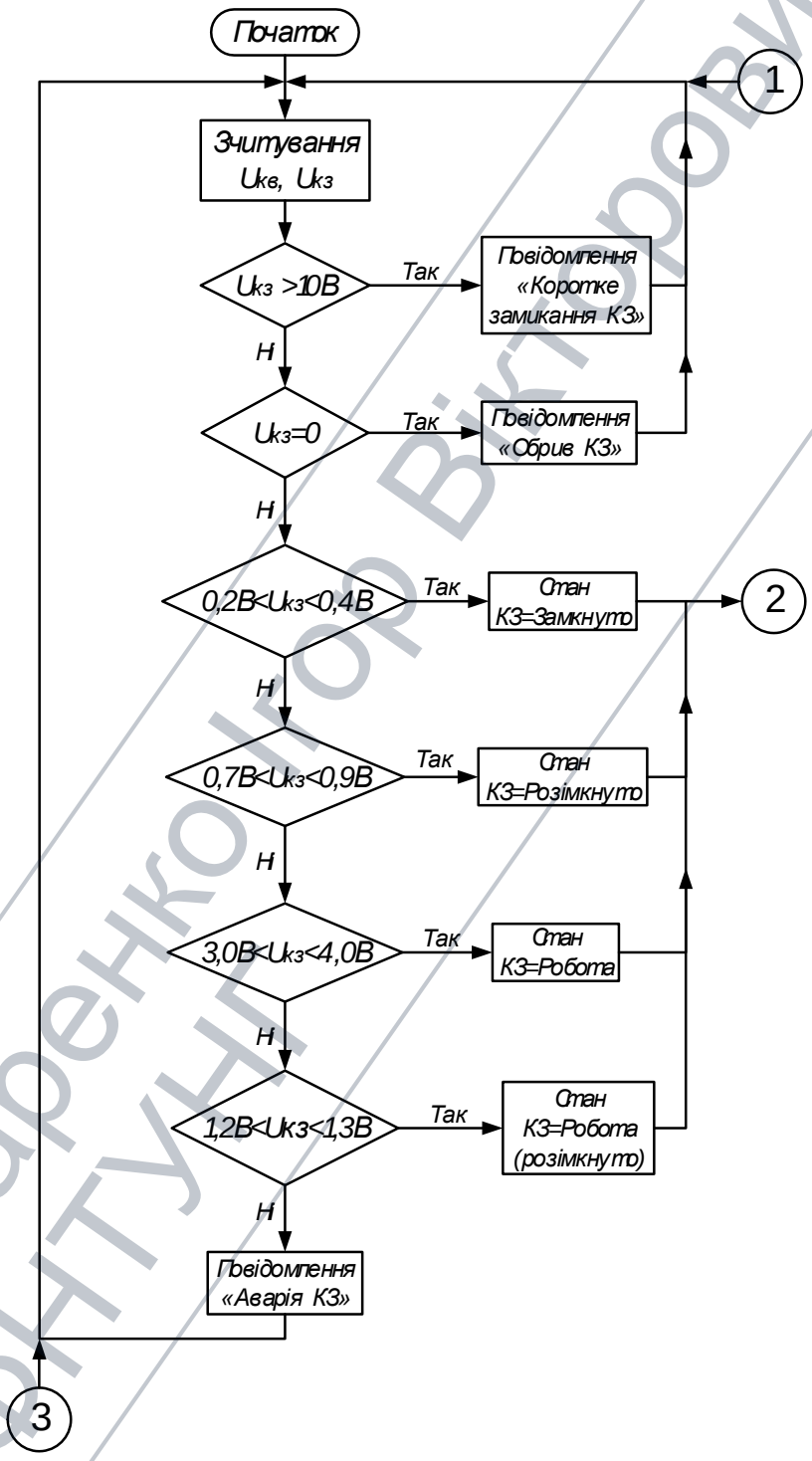


Рисунок Д.1 - Блок-схема алгоритму алгоритму керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Д

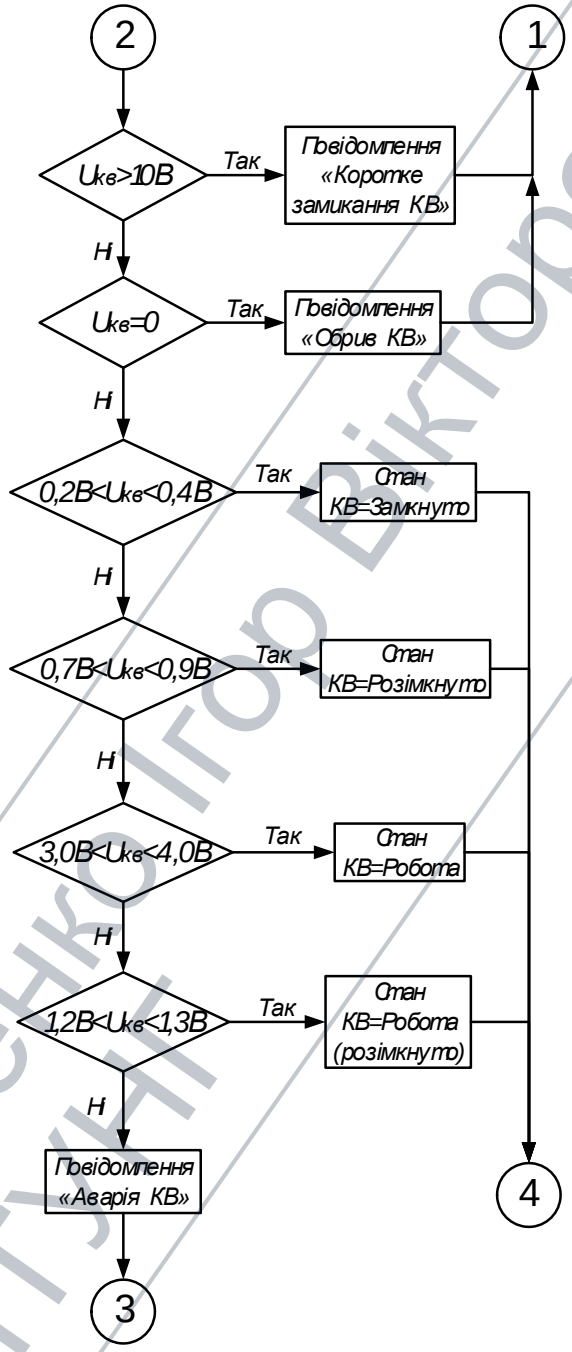


Рисунок Д.1 - Блок-схема алгоритму алгоритму керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1 (продовження)

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Д

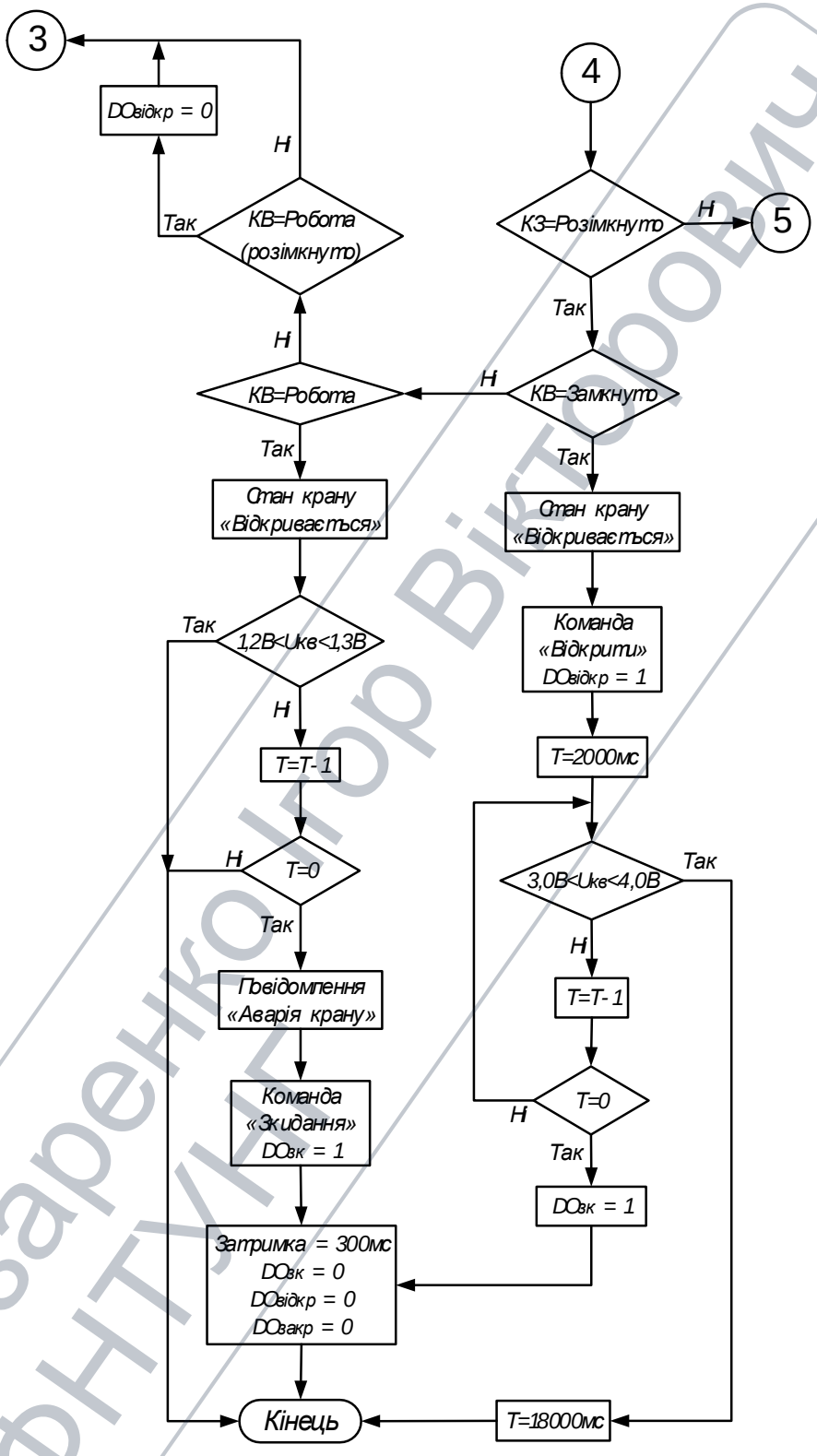


Рисунок Д.1 - Блок-схема алгоритму алгоритму керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1 (продовження)

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Продовження додатку Д

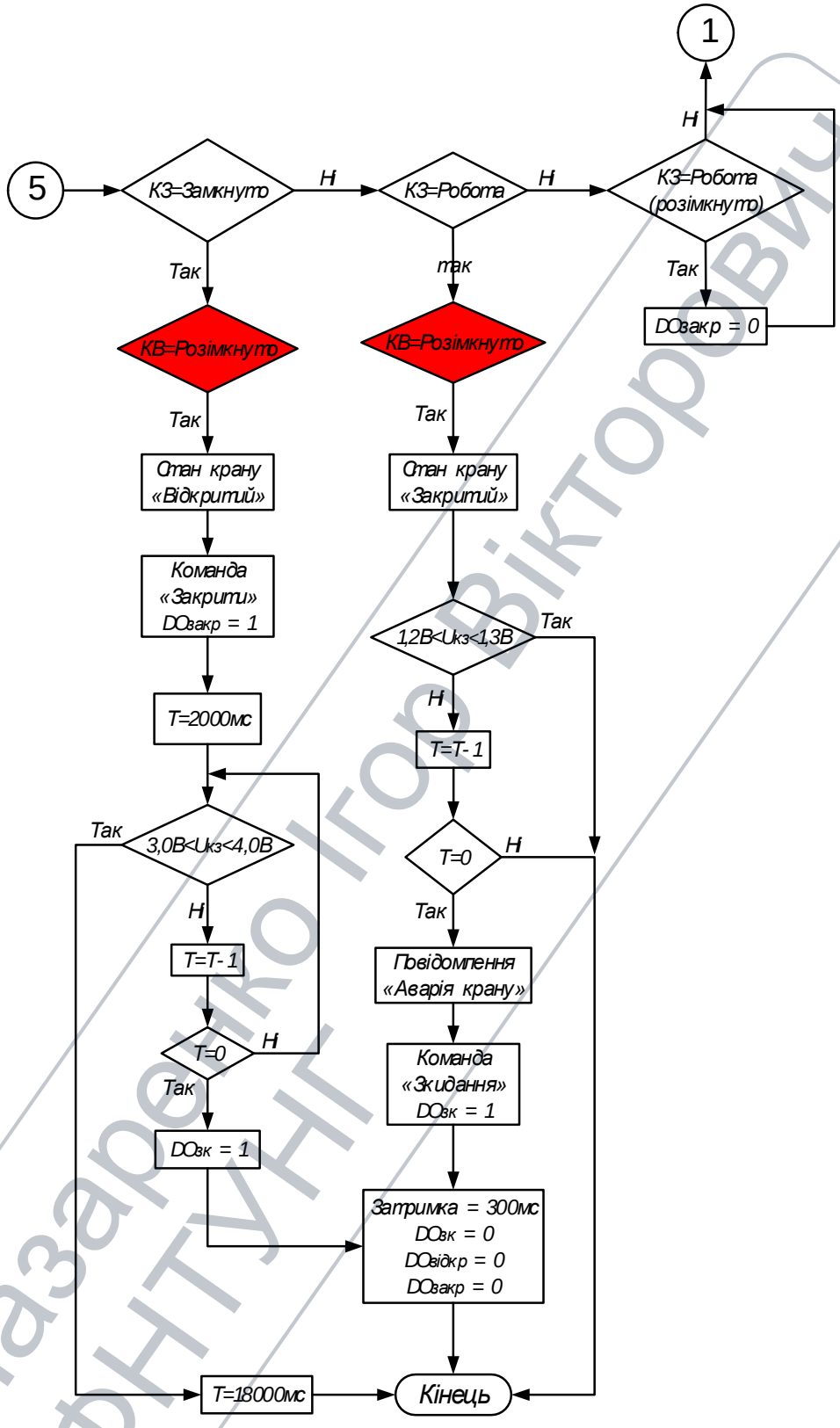


Рисунок Д.1 - Блок-схема алгоритму алгоритму керування виконавчим механізмом ЕППУ-4-1 (продовження)

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

Головний інженер
УМГ «Київтрансгаз»
_____ Ю.М.Ступа
«___» _____ 2011

ФІЛІЯ магістральних газопроводів "КИЇВТРАНСГАЗ" ідентифікаційний код 23517243

АКТ

Ми, що нижче підписалися, від УМГ «Київтрансгаз» - начальник сектору автоматизації виробництва Б.О.Козуля, начальник сектору інформаційних технологій І.П.Дуборіз, начальник відділу інформаційних технологій І.В.Назаренко з однієї сторони та представники кафедри «Комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики» (КТіСУ) Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) – завідувач кафедри д-р техн. наук, професор Л.М.Заміховський, к.т.н., доцент кафедри КТіСУ М.Я.Николайчук з іншої сторони, склали даний акт в тому, що у відповідності з п.1 Плану заходів щодо виконання п.3 «Посилення енергетичної безпеки» Цільового плану Україна – НАТО, в апараті управління та структурних підрозділах УМГ «Київтрансгаз» на протязі 2006-2007 р.р. введено в експлуатацію 15 диспетчерських пунктів компресорних станцій (ДПКС).

При цьому, в процесі розгортання ДПКС, впроваджено запропоновані в дисертаційній роботі І.В.Назаренка принципи уніфікації автоматизованих систем диспетчерського керування компресорними станціями:

- проведено повну класифікацію технологічних параметрів та їх ідентифікаторів для об'єктів УМГ «Київтрансгаз», що спростило і уніфікувало процедури доступу до даних;

- створено інформаційну модель для імітації і дослідження режимів роботи газорозподільних станцій (ГРС) на основі OPC-технології і розроблених тестових сигналів, що уніфікує процес розробки і тестування систем управління на базі SCADA-систем, а також підвищує рівень їх готовності на етапі проектування.

від УМГ «Київтрансгаз»

Начальник сектору
автоматизації виробництва
_____ Б.О.Козуля

Начальник сектору
інформаційних технологій
_____ І.П.Дуборіз

Начальник відділу
інформаційних технологій
_____ І.В.Назаренко

від ІФНТУНГ

Завідувач кафедри КТіСУ
д-р техн. наук, професор
_____ Л.М.Заміховський

Доцент кафедри КТіСУ
к.т.н., доцент
_____ М.Я.Николайчук

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
_____ Мандрик О.М.
«16» 06 2015 р.

АКТ

впровадження матеріалів дисертаційної роботи
«Моделі і методи побудови автоматизованих систем керування компресорними станціями на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів»
здобувача кафедри «Комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики»
Назаренка Ігоря Вікторовича в навчальний процес

Ми, що нижче підписались, директор інституту інформаційних технологій к.т.н., доц. І.І.Чигур, завідувач кафедри КТіСУ д.т.н., проф. Л.М. Заміховський та здобувач кафедри «Комп'ютерних технологій в системах управління та автоматики» І.В. Назаренко, склали даний акт про те, що матеріали дисертаційної роботи «Моделі і методи побудови автоматизованих систем керування компресорними станціями на основі уніфікованих апаратно-програмних засобів» впроваджені у навчальний процес кафедри при вивченні дисциплін «Автоматизоване проектування систем управління і діагностування об'єктами нафто-газового комплексу» і «Системи передавання даних» напрямку підготовки 6.050201 – «Системна інженерія».

Директор інституту інформаційних технологій к.т.н., доцент — І.І.Чигур

Завідувач кафедри КТіСУ д.т.н., професор — Л.М.Заміховський

Здобувач — І.В.Назаренко

Назаренко Ігор Вікторович ІФНТУНГ