

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування

ВОДОПОСТАЧАННЯМ

Назва теми

КвРАКІТ.2022171.01.10.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:

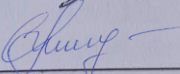
студент II курсу, група АКІТм-22-1


Підпис

Владислав ПАНЮШКІН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Керівник


Підпис, дата

Наталія МОРКУН

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

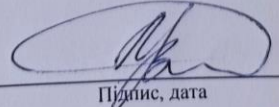
Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 21 » грудня 2023 р.

Хмельницький 2023

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
Освітній рівень другий (магістерський)
Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

АКТІВ Р
В. Маргачук
« 08 » 09 2023р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Панюшкіну Владиславу Андрійовичу

- 1 Тема роботи: Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням
керівник роботи Моркун Наталя Володимирівна, д.т.н, професор.
Затверджено наказом по університету від «15» 08 2023р. № 30.
- 2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 02.12.2023р.
- 3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.) Аналіз сучасного стану функціональної безпеки автоматизованих систем керування. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованої системи керування водопостачання із підвищеною функціональною безпекою
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)
Вступ. Огляд існуючих методів забезпечення функціональної безпеки АСУ ТП. Методи визначення надійності автоматизованої системи. Алгоритмічне проектування системи автоматизованої керування водопостачанням. Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи керування водопостачанням із підвищеною функціональною безпекою Висновки.





Завдання отримав

В. Маргачук

Науковий керівник

В. Маргачук

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

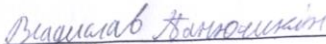
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Микола ФЕДУЛА, доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Людмила КОРЕЦЬКА, доц. кафедри АКІТтаР		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	10.09.2023р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2023р.	Виконано
3	Огляд методів визначення надійності автоматизованої системи	15.10.2023р.	Виконано
4	Алгоритмічне проектування системи автоматизованої керування водопостачанням	30.10.2023р.	Виконано
5	Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи керування водопостачанням із підвищеною функціональною безпекою	10.11.2023р.	Виконано
6	Висновки	15.11.2023р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до ДР	20.11.2023р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2023р.	Виконано

Студент


Підпис


Ім'я, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Наталія МОРКУН
Ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням».

Автор роботи: Панюшкін Владислав Андрійович.

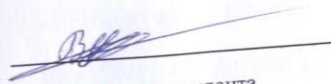
Керівник роботи: Моркун Наталя Володимирівна

Пояснювальна записка: 84 с., 17 рис., 3 табл., 1 дод., 45 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів.

ФУНКЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА, НАДІЙНІСТЬ, ЙМОВІРНІСТЬ
БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ, РЕЗЕРВУВАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНА
СИСТЕМА.

Мета роботи: розробити автоматизовану систему керування водопостачанням із підвищеною функціональною безпекою. Розроблено метод підвищення функціональної безпеки та надійності функціонування автоматизованої системи керування водопостачанням, який полягає у використанні резервування елементів контуру контролю рівня води у резервуарі. Показано, що без використання резервування (дублювання) елементів контуру, ймовірність безвідмовної роботи знаходилась на рівні 0,9389, при резервуванні давачів це значення збільшилось до 0,9438, а при резервуванні давачів та ліній зв'язку це значення вдалось збільшити до 0,9816, що відповідає поставленому завданню.


Підпис студента

15.12.2023

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ АСУ ТП	7
1.1 Огляд структури автоматизованої системи та її інформаційне забезпечення	7
1.2 Огляд етапів життєвого циклу автоматизованої системи.....	10
1.3 Відмови, їх причини та наслідки	11
1.4 Надійність автоматизованої системи управління та її показники	16
1.5 Огляд методів підвищення показників надійності автоматизованої системи	21
1.6 Висновки до першого розділу.....	27
2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	28
2.1 Оцінка надійності обладнання автоматизованої системи керування технологічним процесом	28
2.2 Показники безвідмовності системи.....	29
2.3 Визначення показників надійності елементів автоматизованої системи управління.....	38
2.4 Методи розрахунку надійності	41
2.4.1 Метод структурної схеми надійності.....	41
2.4.2 Метод перебору станів.....	42
2.4.3 Перетворення з еквівалентною заміною трикутника на зірку	42
2.4.4 Перетворення складних структурних діаграм за допомогою декомпозиції за базовими елементами.....	43
2.4.5 Порівняння методів визначення надійності автоматизованої системи управління технологічними процесами	44
2.5 Висновки до другого розділу	45

3	АЛГОРИТМІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЕРУВАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯМ	47
3.1	Вимоги до функціонування насосних станцій	47
3.2	Розробка алгоритму керування насосами, алгоритму збору та обробки інформації	55
3.4	Висновки до третього розділу.....	59
4	РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯМ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОЮ БЕЗПЕКОЮ.....	60
4.1	Обґрунтування вибору компонентів автоматизованої системи керування водопостачанням	60
4.2	Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи керування водопостачанням	65
4.3	Розробка програмного забезпечення для автоматизованої системи із підвищеною функціональною безпекою	69
4.4	Розрахунок надійності контуру контролю рівня води у резервуарі	73
4.5	Висновки до четвертого розділу.....	77
	ВИСНОВКИ.....	78
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	81
	ДОДАТОК А Стаття у фаховому журналі	86

ВСТУП

Актуальність теми. Розробка системи автоматизованого управління водопостачанням залишається актуальною і важливою задачею, і її актуальність зберігається з кількох причин:

- ефективність ресурсів: автоматизація дозволяє оптимізувати процеси керування водопостачанням, керувати витратою води, запобігати витоків та в цілому підвищити ефективність використання водних ресурсів;

- економіка енергії: системи автоматизованого управління дозволяють більш ефективно працювати насосам, фільтрам та іншому обладнанню, що в кінцевому результаті знижує енергоспоживання;

- контроль якості води: за допомогою сучасних технологій і сенсорів можна більш точно контролювати якість води, а також оперативно реагувати на будь-які зміни або аномалії;

- управління мережею: автоматизовані системи дозволяють більш ефективно управляти розподілом води по мережі, регулювати тиск, запобігати простою і підвищувати загальну надійність мережі в цілому;

- моніторинг і аналітика: системи автоматизації забезпечують засоби моніторингу та аналітики, які допомагають операторам швидко виявляти проблеми, проводити аналіз ефективності системи та приймати обґрунтовані управлінські рішення;

- екологічні аспекти: автоматизація водопостачання сприяє екологічній стійкості, оскільки дозволяє мінімізувати кількість води, запобігати забрудненню та забезпечувати більш ефективне використання природних ресурсів;

- управління кризовими ситуаціями: автоматизовані системи управління дозволяють швидко реагувати на позаштатні ситуації, такі як аварії або зміни в потребі, що особливо важливо для забезпечення безпеки та

комфорту населення;

– технологічний прогрес: з розвитком технологій з'являються нові можливості для вдосконалення систем водопостачання, таких як використання штучного інтелекту, Інтернет-речей (IoT) та інших інноваційних підходів.

Таким чином, розробка та впровадження сучасних систем автоматизованого управління водопостачанням залишаються актуальними з метою підвищення ефективності, стійкості та надійності інфраструктури водопостачання.

Надійність роботи автоматизованої системи – один із факторів, що впливають на ефективність керування. Традиційним підходом до аналізу надійності автоматизованої системи є її визначення на основі аналізу відмов системи. Також на практиці надійність автоматизованої системи визначається функціональною безпекою, яка напряму залежить від відмовостійкості та надійності системи в цілому, і регулюється сучасними стандартами, такими як ІЕС 61508.

Мета роботи: розробити автоматизовану систему керування водопостачанням із підвищеною функціональною безпекою.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

– розробити алгоритм функціонування автоматизованої системи керування водопостачанням;

– розробити програмне забезпечення для керування автоматизованою системою керування водопостачанням;

– розробити метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням та забезпечити рівень безвідмовної роботи контуру контролю рівня води на рівні вище 0,95.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого керування системою водопостачання.

Предметом дослідження є розробка методу підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням.

Методи досліджень. При вирішенні поставлених завдань у роботі були використані методи теорії ймовірності, метод декомпозиції, методи алгоритмізації та програмування.

Наукова новизна отриманих результатів.

Розроблено метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням на основі використання методу декомпозиції.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ АСУ ТП

1.1 Огляд структури автоматизованої системи та її інформаційне забезпечення

Промислове виробництво на сьогоднішній день практично є невід'ємним із автоматизованими системами управління. Автоматизована система управління на відміну від автоматичної передбачає те, що людина приймає активну участь задля забезпечення адаптивності та гнучкості автоматизованої системи управління [1-2].

На рис. 1.1 наведено схему обробки даних та прийняття рішень керуючого впливу на об'єкт управління, з якого можна побачити, що для виконання деяких етапів участь людини не є потрібною, тобто можуть бути виконані технічними засобами: збір та обробка даних, визначення параметрів об'єкта управління та порівняння реальних значень із вимогами, вибір та виконання керуючого впливу на об'єкт управління [3-4].

При використанні автоматизованих систем витіснення людини з процесу керування технологічним процесом не відбувається. Системи автоматизованого управління дозволяють раціонально розподілити функції між технічними засобами та операторами. Це дозволяє пришвидшити та спростити роботу, оскільки великі потоки інформації обробляються у короткий час і швидко.

Автоматизована система управління технологічними процесами, як складна система, характеризується наступними рисами:

- системи та елементи є багатофункціональними,
- елементів є декілька,
- наявність загального призначення властива всій системі,

- відбувається обмін енергією, інформацією, матеріалами елементами у процесі взаємодії,
- стохастичний характер взаємодії елементів із зовнішнім середовищем та у системі.

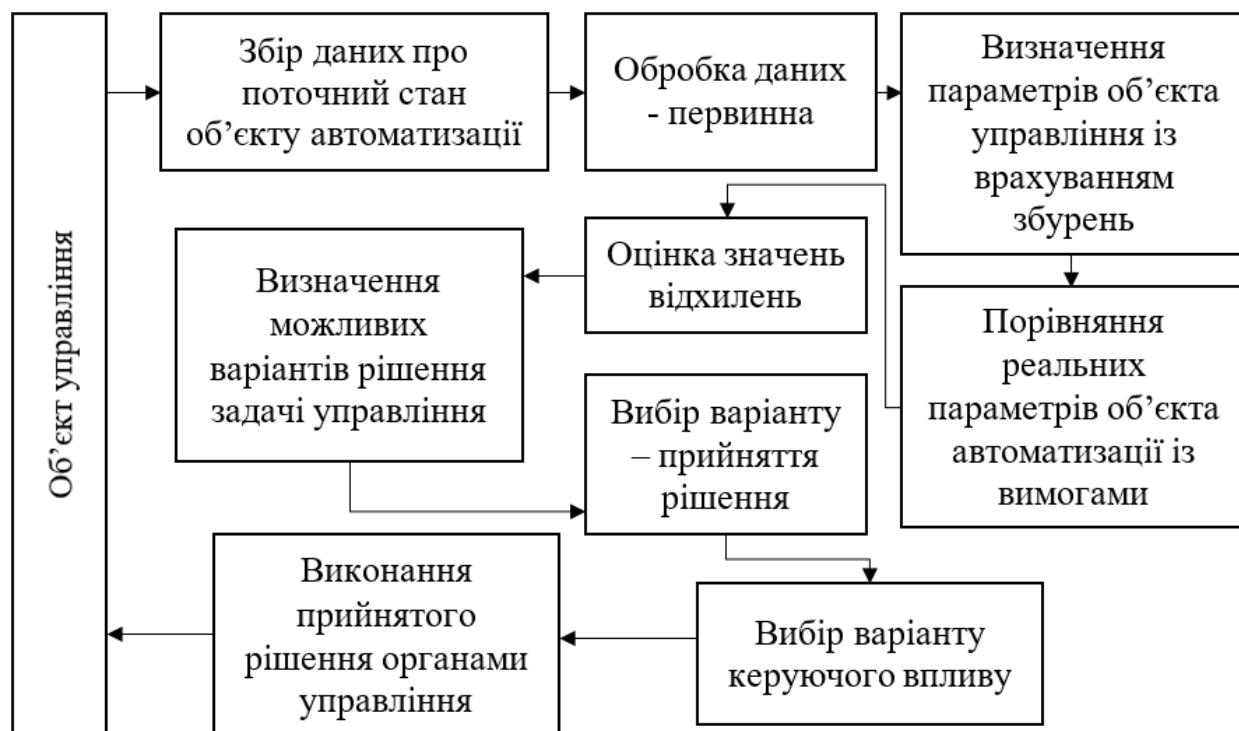


Рисунок 1.1 – Процес прийняття рішень у АСУ ТП

Окрім технічних засобів автоматизації, автоматизована система управління включає в себе інформаційне забезпечення, яке складається з: Інформаційне забезпечення АСУ ТП включає:

- прийняті формати вхідних і вихідних документів (паперові, електронні);
- вихідні дані (застосовуються на етапі проектування та експлуатації автоматизованої системи);
- проміжні дані, над якими далі відбувається подальша обробка (зберігання відбувається у базах даних реального часу);
- дані, що передаються користувачам у паперовому або

електронному виглядах, візуально виводяться на приладові дошки, панель оператора, монітори робочих станцій, і використовуються для управління виконавчими пристроями;

- електронні архіви даних;
- прийнята система кодування інформації.

Всі автоматизовані системи управління залежно від впливу людини на процесу управління поділяють на два класи [5]:

- машина виконує допоміжну функцію, головна роль у процесі керування належить людині;
- машина виконує головну роль, людина при цьому вирішує найскладніші питання, які машині вирішити не є можливим.

У першому випадку про протікання виробничого та технологічного процесу інформаційними системами забезпечується збір, обробка та доставка інформації і на основі проведених обчислень визначаються керуючі впливи, які необхідно здійснити, для здійснення процесу оптимальним чином. У другому випадку відбувається формування та видача команд виконавчим механізмам або виконавцям безпосередньо під час процесу збору інформації. Функціонування таких автоматизованих систем відбувається у режимі реального часу зазвичай.

Метою автоматизованих систем є надання інформації з високою точністю та достовірністю оператору з метою ефективного прийняття рішень. Досить часто на етапі проектування програмно-технічного комплексу або при його виборі, розглядається лише основне обладнання автоматизованих систем управління – центральну частину системи. А от загальна надійність ланцюгів захисту та керування, функції безпеки, починаючи від давачів і завершуючи виконавчими пристроями ігнорується повністю [6-8].

1.2 Огляд етапів життєвого циклу автоматизованої системи

Всі етапи існування системи від її створення до публікації визначаються концепцією життєвого циклу системи [9-10]. Із використанням сучасних стандартів є можливим отримати кількісну оцінку ймовірності відмови автоматизованої системи та певні коефіцієнти, на основі яких визначити інтегральну безпеку системи, тобто відійти від інтуїтивних відомостей про достатність тієї чи іншої архітектури.

Отже, існує формальна основа для встановлення вимог до розробників та постачальників обладнання та систем, дотримання яких забезпечить прийнятний рівень ризику в реальних умовах. Ключові питання, на які необхідно відповісти перед початком конкретного проекту:

- забезпечення безпеки системи, тобто виконання необхідних захисних функцій;
- яким чином повинна бути спроектована система, щоб виключити можливість випадкових і ненавмисних зупинок технологічного процесу, викликаних обладнанням системи.

Життєвий цикл проектування автоматизованої системи управління складається з наступних етапів [11]:

- визначення вимог до автоматизованої системи управління;
- створення концепції автоматизованої системи управління;
- формування технічного завдання;
- розробка ескізного та технічного проектів;
- розробка робочої документації;
- введення в дію автоматизованої системи управління;
- підтримка автоматизованої системи управління.

Згідно з вимогами на першому етапі проектування системи управління процесами слід провести обстеження об'єкта автоматизації. Обстеження

включає збір та аналіз даних про виробничу структуру організацію та функціонування об'єкта автоматизації. Джерелами даних є нормативні документи, національні закони, статут і положення організації та інші законодавчі акти.

Це дослідження також включатиме аналіз систем автоматизації, що вже працюють в об'єкті автоматизації. На цьому етапі також потрібно встановити ступінь інтеграції розроблюваної автоматизованої системи управління з існуючими системами. Крім того, потрібно зібрати та проаналізувати інформацію про вітчизняні та зарубіжні аналоги для розроблюваної автоматизованої системи управління технологічними процесами.

На основі отриманих таким чином даних необхідно визначити основні користувацькі, функціональні вимоги до автоматизованої системи управління.

1.3 Відмови, їх причини та наслідки

Залежності показників ефективності із врахуванням різних зовнішніх та внутрішніх чинників, що мають вплив на виріб, зазвичай дуже складні. Обчислення таких показників вимагає значного опрацювання великого об'єму інформації і проводиться під час остаточної оцінки технічного рівня виробу, під час вибору форми майбутніх виробів, які випускаються. У процесі проектування, експлуатації, виробництва виробів використовуються зазвичай часткові показники ефективності. Тому точність є основним показником ефективності автоматизованої системи управління [12].

Різного роду відмови можуть виникати у процесі експлуатації технічних систем, які можуть призвести до зниження ефективності. Надійність характеризує спричинене цими відмовами зниження ефективності. Тому надійність є більш частковою характеристикою, ніж ефективність.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу за певних умов є найбільш універсальною мірою надійності. Необхідно визначити поняття відмови для кількісної оцінки надійності. Поняття "відмова" допускає різні тлумачення. Для конкретизації цього поняття вводиться поняття умовної ефективності, яка отримується у результаті відбракування різних складових продукту.

Ефективність виробу знижується через накопичення несправностей. Таке зниження ефективності може відбуватись стрибкоподібно або поступово. Прикладом стрибкоподібного зниження ефективності може бути при виході з ладу резервних компонентів і як результаті зміна характеристик зарезервованої системи. Прикладом поступового зниження ефективності може бути в системі числово-програмного керування машини при некритичних збоях у системі керування або підвищення похибки позиціонування промислового робота.

Залежно від швидкості зміни ефективності виробів, вони поділяються на:

- прості;
- складні.

Прості вироби – це такі вироби, ефективність яких при відмові дорівнює нулю. Поступове зниження властиве для складних виробів. Допустима межа зниження ефективності встановлюється для можливості визначення відмови складного виробу. Тоді відхиленням можна вважати вихідний стан величини по відношенню до цієї межі. Так, наприклад, можна встановити граничне значення похибки позиціонування. Вироби називають квазіпростими якщо можна встановити допустиму межу їх ефективності. Ймовірність безвідмовної роботи визначає надійність. Однак існує велика кількість продуктів, для яких неможливо вказати чіткі межі допустимих допусків. Так, наприклад, при поломці робота у виробничому модулі подача заготовок може здійснюватися вручну, тобто модуль не виходить з ладу. Для

поломок із загальних причин на різних етапах «життєвого» циклу установки характерні такі ознаки.

Стадія проектування:

- неможливість прогнозування небезпеки через брак знань про динаміку процесу;
- функціональні відмови в системах автоматичного захисту;
- неадекватний контроль, якщо робота захисного пристрою системи недостатня для виконання його функції;
- недостатні значення вимірювань через невірний інтервал між вимірюваннями або неточності контрольно-вимірювального обладнання.

Недоліки схемотехнічних рішень:

- загальні недоліки при розробці окремих елементів;
- вплив на елементи спочатку невідомих електричних, механічних чи інших залежностей, у тому числі від загальних елементів або загальних допоміжних систем;
- нестандартні елементи, зумовлені невідповідним вибором з точки зору точності, надійності та часу безвідмовної роботи;
- залежність від інших систем;
- недоліки при обробці оперативних дій;
- загальні елементи системи;
- помилки, пов'язані з неправильною інтерпретацією документації, відхиленнями від стандартів, недостатньою взаємодією розробників;
- помилки у розрахунках, програмах, кресленнях, специфікаціях тощо.

Виробничі та складальні процеси:

- недотримання чинних норм та правил;
- недостатній контроль якості продукції;
- вплив на навколишнє середовище чи інше обладнання;

- людський фактор у процесі роботи;
- замалий об'єм випробувань, перевірок.

Етап експлуатації:

- вплив факторів зовнішнього середовища: умови, що входять у зони, обмежені проектом, та умови, що не входять до цих зон (тиск, температура, прискорення, корозія, вібрація, електростатичний розряд, забруднення, радіація), а також раптові внутрішні та зовнішні впливи (погодні умови, пожежа);

- помилки оператора: неправильна експлуатація або недотримання інструкцій; непрямі помилки, пов'язані з неповнотою інструкцій; недостатня кількість спостережень;

- помилки експлуатаційного персоналу в процесі технічного обслуговування та випробувань: неповна перевірка, неповний ремонт, тестування обладнання, калібрування, неповне регулювання.

Виробничі підприємства, що використовують автоматизовані процеси, різняться за багатьма ознаками.

Всі виробництва залежно від ступеня складності процесу можна поділити на два типи:

- прості;
- складні.

Галузі, що випускають однотипну продукцію (наприклад, лісопилення, видобуток вугілля, виробництво теплової, електричної енергії тощо) відносяться до простих. Технологічні процеси в таких галузях є одиничними, а поточна робота, як правило, не враховується при розрахунку собівартості продукції, оскільки вона або відсутня або незначна і має фіксовані розміри.

Найбільш типовими простими галузями є видобуток корисних копалин та виробництво енергії.

Галузі, в яких технологічний процес складається з декількох

самостійних стадій, модифікацій та етапів, на яких сировина послідовно перетворюється на кінцевий продукт, відносяться до складних. Продукція кожної стадії (фази, переходу) у цих галузях з'являється у вигляді напівфабрикатів наступної стадії обробки.

Складне виробництво, як правило, властиве для обробних галузей промисловості, зокрема хімічної, металургії, машинобудування, текстильної, скляної.

У багатьох технологічних галузях використовуються речовини та енергія, які в аварійних ситуаціях можуть завдати шкоди персоналу та інфраструктурі. Ці виробництва визначені як небезпечні [13, 14]. До небезпечних виробничих об'єктів належать цехи, підприємства, ділянки, заводи та інші виробничі об'єкти, на яких використовуються, переробляються, виробляються, зберігаються, виготовляються, утилізуються чи транспортуються такі речовини:

- токсичні речовини - речовини, які смертельно небезпечні при впливі на живі організми;
- окислювачі - речовини, що сприяють горінню, що викликають займання та/або сприяють займанню інших речовин в результаті окислювально-відновної екзотермічної реакції;
- горючі речовини - рідини, гази та самозаймісті речовини, які займаються від джерела запалювання і мимоволі згорають після видалення джерела;
- легкозаймісті речовини - гази з температурою горіння 20°C и нижче при нормальному атмосферному тиску, які стають легкозаймистими при змішуванні з повітрям;
- вибухові речовини - речовини, здатні до дуже швидких саморозповсюджуваних хімічних змін за певних зовнішніх впливів, що супроводжуються виділенням тепла та газоутворенням;

Виробництво також є небезпечним, якщо:

- виробництво, транспортування та поводження з розплавами чорних та кольорових металів та сплавами здійснюється на обладнанні, розрахованому на максимальну продуктивність розплав 500 кг та більше;
- при використанні стаціонарних вантажопідйомних механізмів (крім підйомних платформ для інвалідів, ліфтів), підземних ескалаторів, канатних та підвісних доріг;
- якщо використовується обладнання, що працює під надлишковим тиском, що перевищує 0,07 МПа.

Безпека цих виробів повинна забезпечуватись відповідно до чинних нормативних документів, зокрема, стандарту ІЕС 61508 [15]/ІЕС 61511 [16] та відповідати певному рівню безпеки, залежно від виду виробництва.

Показники надійності – це кількісні оцінки відмов та їх наслідків, які виникають у ході технологічного процесу [17, 18].

1.4 Надійність автоматизованої системи управління та її показники

Стан кожного об'єкту поступово змінюється. З часом відбувається перехід від одного стану до іншого. Якісні зміни є результатом подібних переходів. Набір певних характеристик об'єкту, які придатність цього продукту задоволення конкретних потреб залежно від його призначення, і є поняттям якості [19, 20].

Надійність є одним з параметрів, які визначають працездатність технічних систем. Надійність - характеристика об'єкта, що описує його здатність виконувати необхідні функції у встановлених умовах використання та заданому режимі, і утримується в заданому інтервалі. Це складна функція, яка зазвичай складається з таких компонентів, як надійність, безпека, довговічність, ремонтпридатність та продукту [21-23].

Стан об'єкта є задовільним, якщо він відповідає всім вимогам

нормативної, технологічної та проектної документації. Якщо всі технічні параметри та значення якості відповідають вимогам нормативної, технічної та конструкторської документації, то такий стан має назву працездатного і характеризує здатність виконувати задану функцію. Стан вважається непрацездатним, якщо значення одного та більше параметрів не відповідають заданим вимогам. Ушкодження - перехід об'єкта в несправний, але функціональний стан, несправністю називається неробочий стан. На виникнення як ушкоджень так і несправностей системи мають вплив багато чинників:

- навантаження;
- умов експлуатації;
- часу безвідмовної роботи системи тощо.

На відміну від справного стану стан працездатний повинен задовольняти лише вимогам документа, і його виконання гарантує успішне використання об'єкта за призначенням. Поняття "несправність" пов'язане з таким важливим елементом надійності, як безвідмовність, тобто характеристиками об'єкта, що дозволяють безперервно підтримувати робочий стан протягом тривалого заданого періоду часу. Напрацювання - час або обсяг виконаної об'єктом роботи. За допомогою одиниці часу або обсягу роботи може бути виміряна виконана робота. Робота на відмову – обробка об'єкта від початку операції до першого.

У результаті виконання ремонтних або відновлювальних робіт відбувається перехід об'єкта з неробочого стану до працездатного. Мета, на яку відновлення працездатності в даному випадку передбачено технічною документацією, називається відновленням. У всіх інших випадках об'єкт вважається невідновлюваним.

Ремонтопридатність характеризує властивість об'єкту у виявленні та попередженні джерел виникнення відмов, шляхом проведення технічного

обслуговування можливість відновлення та підтримання працездатного стану. Властивість об'єкту до настання граничного стану, у якому подальше використання за призначенням заборонена, має назву довговічність.

Резервування є одним із найважливіших способів забезпечення певного рівня надійності об'єкта, яка має на меті при виході з ладу одного або кількох його елементів збереження працездатного стану об'єкта за рахунок здійснення додаткових заходів. Підвищення надійності обладнання за допомогою використання резервування є одним із найпоширеніших заходів [24].

При використанні поняття надійності в інженерній практиці необхідно проводити відповідні кількісні оцінки розрахунків надійності та порівнювати її значення для різних технічних рішень. Для цієї мети використовуються кількісні характеристики однієї і більше характеристик-комплексні та поодинокі показники надійності.

Такі події, як порушення чи відновлення функціонального стану об'єкта є випадковими подіями. Час відновлення, робота до відмови об'єкта – випадкове значення.

Послідовність відмов і відновлень, які відбуваються під час роботи об'єкта, є потік випадкових подій. У якості індикаторів надійності використовуються багато з цих кількісних характеристик випадкових подій, величин і процесів, що використовуються в теорії ймовірностей. Проте теорія надійності не вважається підрозділом теорії ймовірностей. Її інженерна підхід – це насамперед підвищення надійності. Методи теорії ймовірностей використовуються у теорії надійності, але вони були змінені таким чином, щоб забезпечити як оцінку, так і збільшення ймовірності часу безвідмовної роботи.

Загалом це полягає у тому що за властивостями системи відбувається зворотне обчислення формул надійності та максимізації.

Вичерпною кількісною характеристикою інтенсивності відмов невідновлюваного об'єкта є її функція розподілу $f(t)$ і є випадковою величиною.

Властивості цієї функції:

– $f(t) = 0$ при $t = 0$, відмова протягом дуже малого часу малоймовірна, оскільки пристрій справний і вивчення його роботи лише починається.

– $f(t) \rightarrow 1$ при $t \rightarrow \infty$, ймовірність відмови при необмеженому збільшенні часу прагне до одиниці, оскільки будь-який технічний засіб з часом виходить з ладу.

– $f(t)$ - є функцією неспадною, як і всі функції розподілу.

Поняття ймовірність відмови визначається як ймовірність настання події, коли протягом заданого часу об'єкт вийде з ладу, при цьому був у початковий момент часу працездатним.

На інтервалі часу від 0 до t для ймовірності відмови буде вірним вираз (1.1):

$$Q(t) = f(t). \quad (1.1)$$

Згідно виразу (1.2) визначається ймовірність безаварійної роботи:

$$P(t) = 1 - f(t). \quad (1.2)$$

Інтенсивність відмов є також показником надійності невідновлюваних об'єктів – визначається за умови що до цього часу не було відмова не настала і характеризується як умовна щільність ймовірності відмови невідновлюваного об'єкта встановлена у поточний момент часу. Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ дорівнює відношенню щільності розподілу $f(t)$ до

ймовірності безвідмовної роботи.

Характер функціонування технічних систем у часі описує залежність інтенсивності відмов від часу.

Період роботи пристрою можна поділити на три етапи:

- перший – інтенсивність відмов значна, на ньому визначаються виробничі дефекти;
- другий – ділянка нормальної роботи, на якій інтенсивність відмов постійна;
- третій – посилення процесів зношування та старіння виробничих об'єктів, інтенсивність відмов зростає.

На етапі нормальної експлуатації достатньо вказати одне число λ для визначення надійності об'єкта. Тому як основний показник надійності елементів використовується поняття інтенсивності відмов.

Для оцінки надійності відновлюваних об'єктів використовуються як одиничні показники так і комплексні показники. Одиничні показники описують тільки ремонтпридатність або тільки надійність, комплексні дають узагальнену оцінку обох цих властивостей.

Ймовірність відновлення працездатного стану є показником ремонтпридатності. Цей показник описує ймовірність того, що час відновлення працездатного стану об'єкта не перевищує встановленого, і середній час відновлення працездатного стану – математичне сподівання часу реставрації.

Вводиться поняття "інтенсивність відновлення" за аналогією з частотою відмов об'єкта, що відновлюється – умовна щільність розподілу часу відновлення до моменту t , якщо відновлення об'єкта не відбулося. Експоненційний розподіл часу відновлення отримується при $\lambda(t) = \text{const}$.

Використовуються такі показники надійності: середня частота відмов - відношення продуктивності об'єкта відновлення до математичного

очікування кількості відмов за цей час експлуатації. Також використовується параметр потоку відмов – коефіцієнт середньої кількості відмов відновлюваного об'єкта до значення цього часу безвідмовної роботи за будь-який мінімальний час безвідмовної роботи до значення цього напрацювання.

Ефективність є найбільш універсальною характеристикою складної технічної системи, яка відноситься до ступеня адаптації та виконання системою виконання покладених на неї функцій, і залежить від ряду параметрів та показників. Основними з них є якість функціонування, вартість виробництва, розробки та експлуатації виробів, вага, потужність споживаної енергії, нормальні умови експлуатації, габарити тощо.

Ефективність продукту, крім того, залежить від його характеру зв'язку між елементами, структури, типу алгоритму управління та багатьох інших функціональних закономірностей, які не можна пояснити з використанням зазначених параметрів. Ефективність автоматизованої виробничої системи характеризується надійністю технічних засобів, вартістю всіх видів устаткування, тривалістю виробничого циклу, кількістю обслуговуючого персоналу, швидкістю технічних засобів, коефіцієнтом завантаження та продуктивністю технічного обладнання, довговічністю, кількістю програм управління, рентабельністю, гнучкістю. Ефективність комп'ютерних технологій характеризується обсягом оперативної пам'яті та пристроїв, якістю візуального відображення, кількістю каналів зв'язку та вартістю.

1.5 Огляд методів підвищення показників надійності автоматизованої системи

Здійснення підвищення показників надійності можливе на етапах життєвого циклу автоматизованої системи управління технологічного процесу.

Етап розробки:

- застосування більш надійних компонентів. Це означає, що при проектуванні автоматизованої системи використовуються елементи, які в порівнянні мають більш високі показники надійності, але виконують необхідні функції в заданих умовах;

- структурна надмірність дозволяє будувати надійні автоматизовані системи використовуючи ненадійні елементи (фактично – резервування).

- впровадження надлишковості системи(власної, структурної, інформаційної, алгоритмічної).

Операційний етап:

- організація інтенсивного профілактичного огляду та ремонту її окремих елементів та системи в цілому;

- поліпшення умов роботи системи. Тобто забезпечити відведення тепла, яке виділяється у процесі роботи системи, правильно розташувати у блоках системи її елементи.

Виділяють декілька принципів, які підвищують показники надійності:

- принцип відокремлення та захисту обладнання;

- принцип безпечного скасування;

- принцип резервування системних модулів;

- принцип спрощення.

Принцип захисту та відокремлення обладнання полягає у наступному:

- виключення загальних елементів у зарезервованих системах;

- фізичний захист від внутрішніх і зовнішніх впливів надлишкових елементів;

- поділ схем або ліній, що запобігають коротким замиканням, і дозволяють виконувати контроль оператором і ремонт;

- використання роботи обладнання блокових щитів управління,

кабелів станцій;

- забезпечення окремих приміщень для обладнання і кабельних ліній з його функціональною різноманітністю;
- застосування фізичного бар'єру у тих місцях, в яких поділ не проходить через макет;
- забезпечення для резервних систем достатньої кількості засобів пожежогасіння;
- захист від впливу магнітних і електричних полів резервних каналів;
- захист з'єднань, вузлів, кабелів, обладнання від атмосферної корозії, від механічних впливів, нагрівання, дії води, пару тощо.

Принцип безпечного скасування полягає у наступному:

- при коротких замиканнях та порушення заземлення в кабельних системах використання безпечних автоматичних вимикачів;
- проектування та створення таких автоматизованих систем, щоб при наявності відмови із загальних причин були безпечними;
- можливість розміщення резервних елементів у «гарячому резерві»;
- спеціальна розробка ручного розблокування і перемикання;
- виключення можливості відмови із загальної причини – контроль калібрування;
- виявлення та прогнозування потенційно небезпечних відмов із загальної причини, які переводять стан автоматизованої системи на інший рівень безпеки експлуатації системи.

Принцип спрощення полягає у наступному:

- необхідно враховувати навантаження, яке зумовлено перехідними процесами, при відборі обладнання;
- необхідно враховувати, що комплекти обладнання повинні витримувати великі навантаження в порівнянні з граничними значеннями.

Принцип резервування системних систем та модулів на сьогоднішній

день є найпоширенішим способом підвищення надійності роботи автоматизованої системи. Цей спосіб може бути використаний до великої кількості різноманітних систем і є універсальним.

Резервування може бути двох видів:

- загальним, при цьому відбувається резервування системи в цілому;
- поелементним (роздільним), при якому відбувається резервування окремих її елементів.

Кількість резервних елементів може бути в кілька разів менша, ніж ті, які резервуються, у випадку, коли в системі використовується багато однотипних елементів.

Дублюванням елементів, деяких її блоків або системи цілому називають вид резервування із множинним резервування. Рівень резервування елементів системи позначається правильним нескорочуваним дробом. Кратність резерву – відношення кількості елементів резерву до кількості елементів, які резервуються, яке записується із використанням нескорочуваного дробу. Наприклад, згідно [25], буде невірним, якщо представити як 1,5 коефіцієнт резерву 3:2, а інколи не відповідає стандарту вживаний термін «половина резерву». При скороченні дробів важлива інформація про загальну кількість елементів у системі зникає.

Резервування із навантаженим резервом, при якому всі елементи автоматизованої системи у резервованій системі є рівноправними і виконують однакову функцію, а на її виході виконується за схемою «голосування», без перемикачів виділення одного з N сигналів, називається постійним резервуванням (включає метод голосування та мажоритарне резервування). Із використанням постійного резервування є можливість спроектувати систему з найвищим коефіцієнтом доступності.

Метод резервування реалізується наступним чином. Нехай система у своєму складі містить окремі функціональні блоки, вихід з ладу будь-якого з

них призводить до виходу з ладу всієї автоматизованої системи. Кожен функціональний блок містить у своєму складі основні та резервні елементи.

На проектування та побудову резервованої системи виділяється певний набір ресурсів.

Необхідно побудувати структуру системи, цільова функція $P(t)$ якої досягне екстремуму і забезпечить успішне вирішення всіх поставлених перед системою завдань, з витратами, які не перевищують задану межу з ймовірностями не нижче заданих меж.

Цільова функція $P(t)$ описується у вигляді добутку ймовірності безвідмовної роботи всіх функціональних блоків автоматизованої системи (1.3) [26]:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (1.3)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи системи, $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -ого функціонального блоку.

Запас ресурсів, які виділені на створення резервованої системи, є обмежуючим фактором для рівня резервування (1.4):

$$L_i \geq \sum_{j=1}^n R_{i,j}, \quad (1.4)$$

де $R_{i,j}$ – кількість i -го ресурсу, витраченого на j -ий функціональний блок;

L_i – запас i -го ресурсу, виділений на побудову системи;

i – порядковий номер ресурсу;

j – серійний номер функціонального блоку;

n – кількість функціональних блоків.

Отже, маючи необхідні обмеження та цільову функцію, постає завдання формування оптимального складу зарезервованої системи.

Метод найшвидшого спуску з фіксованим кроком може бути використаний для вирішення задачі пошуку оптимальної резервованої структури автоматизованої системи керування технологічними процесами. Цей метод є ітераційним чисельним методом першого порядку розв'язання задач оптимізації, за допомогою якого є можливість визначати екстремальне значення (мінімальне або максимальне значення) цільової функції.

Екстремум цільової функції (максимальне або мінімальне значення) визначається згідно з зазначеним методом у напрямку найбільш швидкого спадання (зростання) функції, тобто в напрямку градієнтної (анти-градієнтної) функції. Градієнт функції у точці – це вектор, проекція якого на осі є частковою похідною від координат. Градієнт строго ортогональний поверхні у базовій точці і її напрямку, і вказує напрямок найшвидше зростаючої функції, а антиградієнт (протилежний напрямок), відповідно, вказує напрямок найшвидше спадної функції.

Найшвидший метод спуску - це розвиток методу градієнтного спуску. Якщо елементи системи з'єднані послідовно, найбільше підвищення загальної надійності досягається за рахунок резервного копіювання найменш надійних модулів.

Шляхом ітераційного додавання резервних елементів до функціонального блоку автоматизованої системи, який володіє найменшою ймовірністю відмово стійкості, відбувається здійснення підвищення відмовостійкості автоматизованої системи в цілому (1.5).

$$R_i = \frac{1}{P_i(t)}. \quad (1.5)$$

Після цього відбувається визначення номера функціонального блоку системи, для якого зазначена функція має максимальне значення, і до цього блоку встановлюється резервний елемент. Далі відбувається наступна ітерація і т.д.

При підвищенні надійності окремих елементів загальна надійність системи сягає значення тих елементів, підвищення надійності яких не відбувається. І тому відбувається обмеження надійності автоматизованої системи згори, елементи, тобто елементи не резервовані з меншою надійністю стають «вузькими місцями» надійності системи в цілому. Використання описаного методу дозволяє ефективно підвищити надійність автоматизованої системи.

Ймовірність безвідмовної роботи для системи у наведеному прикладі є максимальною. Цей показник є важливим показником надійності, але не єдиним. Функціональність автоматизованої системи має враховуватися під час аналізу надійності. Тому необхідно враховувати та систематизувати аналізовані параметри.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз можливих відмов, їх причин та наслідків, показано, що слід враховувати чинники, які впливають на надійність функціонування автоматизованої системи на всіх етапах життєвого циклу: проектування, розробка, експлуатація. Ймовірність відмов (або ймовірність безвідмовної роботи автоматизованої системи) визначається показниками надійності елементів та системи в цілому. Розглянуто методи підвищення показників надійності функціонування автоматизованої системи.

2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Оцінка надійності обладнання автоматизованої системи керування технологічним процесом

Кількісні характеристики та показники надійності необхідно визначати для: [27]

- визначення необхідного комплекту запасних деталей та обладнання для відновлення роботи автоматизованої системи управління технологічним процесом;
- оцінки надійності пристроїв та елементів у різних системах автоматичного управління.

Надійність – це властивість об'єкта зберігати у часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання та транспортування і є однією із основних показників процесу експлуатації. Такі події як збої і відмови елементів є випадково розподіленими в часі. Тому характеристики надійності системи визначають з числа показників в теорії ймовірності. Математична статистика і теорія ймовірності є основним апаратом щодо питань пов'язаних з оцінкою надійності системи автоматичного управління.

Показники надійності можуть визначатися:

- із використанням результатів спостережень, випробувань, з подальшою оцінкою отриманих даних показників надійності із використанням методів математичної статистики.
- аналітично на підставі отриманих з теорії ймовірності формул.

2.2 Показники безвідмовності системи

Показники надійності бувають:

- одиничними – описують одну властивість надійності об'єкта;
- комплексними – може одночасно описувати кілька його властивостей.

Виділяють такі основні показники безвідмовності системи:

- ймовірність безвідмовної роботи;
- середнє напрацювання до відмови;
- напрацювання на відмову.

Кількісною оцінкою ймовірності того, що в межах заданого інтервалу часу t або заданого напрацювання відмова блоку або об'єкта системи не виникне описується ймовірність безвідмовної роботи (2.1).

$$\hat{P}(t) = \frac{N - r}{N}, \quad (2.1)$$

де r – це кількість об'єктів, що відмовили до часу t ;

N – загальна кількість об'єктів, за якими відбувається спостереження, що є працездатними у початковий момент часу $t=0$;

$N - r$ - кількість об'єктів, що пропрацювали безвідмовно до моменту часу t .

Ймовірність безвідмовної роботи встановлюють на рівні не нижче 0,99, для відповідальних елементів автоматизованих систем управління, а також якщо відмова об'єкта в цілому або деякого обладнання може спричинити аварійно-небезпечну або дорогу затримку виробництва. Ймовірність безвідмовної роботи встановлюють рівним 0,9999 або більше, якщо відмова пов'язані з тяжкими наслідками та відмова може завдати загрозу життю. Показник ймовірності безвідмовної роботи не нормують або приймають

нижче зазначених рівнів, у випадку якщо відмова відбивається лише вигляді незначних економічних втрат.

Середнє напрацювання до відмови - визначається як математичне очікування середнього часу напрацювання до першої відмови [24, 28]. Цю характеристику визначають для невідновлюваних об'єктів, таких як гаки, підшипники кочення, канати та ін.

Даний показник визначається як відношення статистичного сумарного напрацювання $\sum t_i$ об'єктів, що випробувані, до відмови до кількості об'єктів N (2.2):

$$\hat{T}_1 = \frac{\sum t_i}{N}. \quad (2.2)$$

Для найбільшої наочності у деяких випадках використовують такі показники як потік відмов $\omega_B(t)$ або інтенсивність відмов $\lambda(t)$. Для елементів, раптова відмова яких може призвести до значних економічних втрат або спричинити аварії, показник ω_B є обов'язковим. Його визначають за виразом (2.3):

$$\omega_B = \frac{n_B}{\sum t_i}. \quad (2.3)$$

де n_B - кількість раптових відмов, які були відмічені у період спостереження;

$\sum t_i$ - сумарне напрацювання за цей же період спостереження.

Напрацювання на відмову — визначається як відношення напрацювання об'єкта, що відновлюється, до математичного очікування числа його відмов протягом цього ж напрацювання (2.4).

$$\hat{T}_0 = \frac{1}{N_0} \sum t_i. \quad (2.4)$$

і описується як статистична величина відношення сумарного напрацювання, об'єктів, що відновлюються, до сумарного числа N_0 відмов цих об'єктів.

Напрацювання на відмову при експоненційному розподілі напрацювання на відмову записується як (2.5):

$$\hat{T}_0 = \frac{1}{\hat{\lambda}(t)} = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.5)$$

При рівності $\lambda = \omega_B$ (2.6):

$$\hat{T}_0 = \frac{1}{\omega_B}. \quad (2.6)$$

На напрацювання на відмову безпосередньо впливає тривалість періоду, протягом якого вона визначається. Це залежить від мінливості характеристики потоку відмов. Наприклад, напрацювання на відмову менше у період попередній капітальний ремонт або приробітку, а також профілактиці, ніж після їх закінчення.

Для розрахунку показників надійності необхідно мати знання про функцію або закон розподілу часу безвідмовної роботи об'єкта автоматизації, яка є випадковою величиною. Функція розподілу часу безвідмовної роботи об'єкта $Q(t)$, може бути визначена за отриманими при спостереженні за об'єктом або випробуванні його статистичними даними. На стадії проектування об'єктів автоматизації існує необхідність у обґрунтуванні та

висуванні гіпотези про функцію розподілу часу безвідмовної роботи автоматизованої системи управління, яку необхідно перевіряти під час виробництва та експлуатації об'єкта оскільки таких статистичних даних немає.

Отже час між відмовами для елементів пристроїв або автоматизованих систем буде безперервною випадковою величиною і описується за допомогою деякою закону розподілу.

Найчастіше у теорії надійності використовуються наступні закони розподілу часу безвідмовної роботи:

- розподіл Вейбула,
- експоненційний,
- гама-розподіл,
- нормальний закон розподілу чи розподіл Гауса.

Експоненційний закон розподілу часу описується із використанням таких залежностей (2.7):

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad T = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}; \quad a(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad (2.7)$$

де λ – інтенсивність відмов об'єкта автоматизації – параметр експоненційного розподілу.

Дисперсія часу безвідмовної роботи об'єкта автоматизації визначається як (2.8):

$$D = \int_0^{\infty} t^2 a(t) dt - T^2 = \int_0^{\infty} t^2 \lambda e^{-\lambda t} dt - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2}. \quad (2.8)$$

$$Q(t) \approx \lambda t = t/T, \quad P(t) \approx 1 - \lambda t, \quad \text{при } \lambda t \ll 1.$$

Експоненційний закон розподілу характеризується такою важливою властивістю як а залежність ймовірності безвідмовної роботи від довжини інтервалу τ і незалежністю на інтервалі $(t, t+\tau)$ від часу попередньої роботи t .

На інтервалах часу $(0,t)$ та $(0,t+\tau)$ вірний наступний запис (2.9):

$$P(t+\tau) = P(\tau)P(t), \quad (2.9)$$

де $P(t+\tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи елемента або автоматизованої системи в цілому на проміжку часу $(t+\tau)$, $P(\tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи елемента або автоматизованої системи в цілому на проміжку часу τ , за умови безвідмовної роботи елементів за період часу t , $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи елемента або автоматизованої системи в цілому на проміжку часу t .

Для випадку розподілу за експоненційним законом ймовірність безвідмовної роботи елемента або автоматизованої системи (2.10) із врахуванням (2.11) запишеться як (2.12):

$$P(t+\tau) = e^{-\lambda(t+\tau)} = e^{-\lambda\tau} \cdot e^{-\lambda t}, \quad (2.10)$$

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.11)$$

$$P(\tau) = e^{-\lambda\tau}. \quad (2.12)$$

На рисунку 2.1 наведено експоненційний розподіл ймовірностей безвідмовної роботи системи.

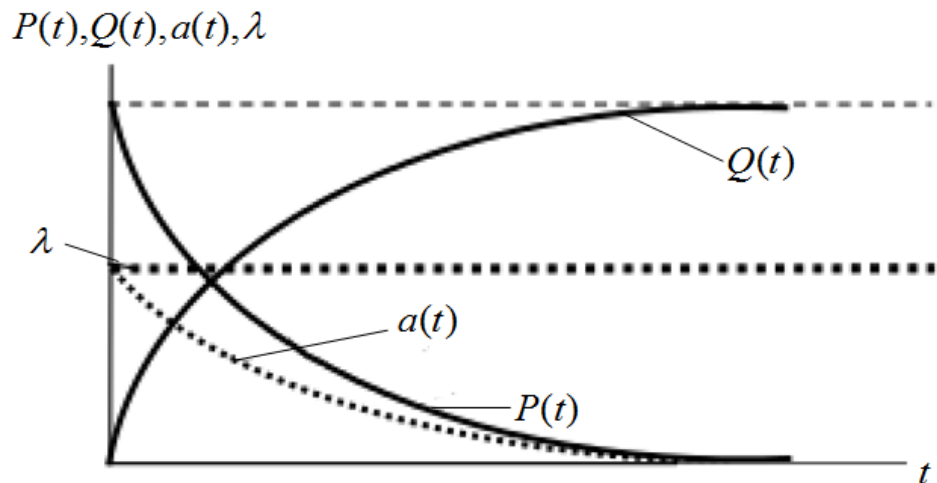


Рисунок 2.1 – Експоненційний закон розподілу значень показників надійності від часу безвідмовної роботи

На основі аналізу досвіду експлуатації існуючих на сьогодні систем автоматизації та пристроїв можна впевнитись, що їх показники надійності підпорядковуються експоненційному закону. На це впливає те, що системи сучасні автоматизованого управління містять у своєму складі високонадійні первинні елементи, а потік відмов змінюється за стаціонарним пуасонівським потоком у основний період.

Найчастіше для оцінки показників надійності при поступових відмовах, зносом, зумовлених старінням, недостатньою міцністю тощо виробів або об'єктів автоматизації використовується розподіл Вейбула (2.13), який відноситься до двопараметричного розподілу.

$$P(t) = e^{-\lambda_B t^\alpha}; \quad Q(t) = 1 - e^{-\lambda_B t^\alpha}; \quad \alpha(t) = \lambda_B \alpha t^{\alpha-1} e^{-\lambda_B t^\alpha}, \quad (2.13)$$

де α , λ_B - параметри розподілу Вейбула.

Підставивши у формули отримаємо наступні залежності (2.14)-(2.16):

$$\lambda(t) = \frac{\alpha(t)}{P(t)} = \lambda_B m t^{\alpha-1}, \quad (2.14)$$

$$D = \frac{\Gamma\left(\frac{2}{\alpha} + 1\right) - \Gamma^2\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)}{\lambda_B^{\frac{2}{\alpha}}}, \quad (2.15)$$

$$T = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_B t^\alpha} dt = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)}{\lambda_B t^\alpha}. \quad (2.16)$$

де Γ – гама-функція, значення якої визначають згідно таблиць.

На рисунку 2.2 наведено графік залежностей, що описують розподіл Вейбула при різних значеннях.

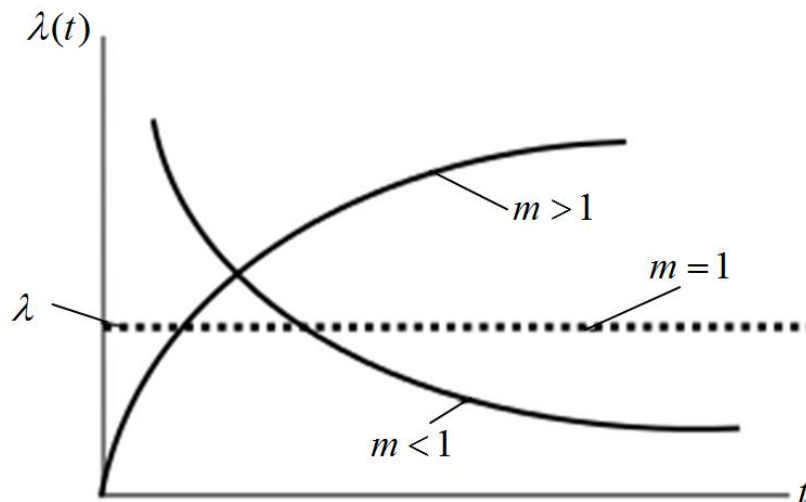


Рисунок 2.2 – Графік залежності інтенсивності відмов при розподілі Вебула

Розподіл Гауса або нормальний розподіл випадкової величини виникає при залежності випадкової величини від деякої значної кількості випадкових однорідних чинників, при цьому однак вплив кожного з цих чинників є незначним у порівнянні з іншими.

При $\sigma \ll T$, що властиво для елементів в більшості випадків, які застосовуються у системах автоматичного керування, отримаємо наступні рівняння (2.17)-(2.19):

$$Q(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^t \exp\left[-\frac{(x-T)^2}{2\sigma^2}\right] dx, \quad (2.17)$$

$$a(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(x-T)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (2.18)$$

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^t \exp\left[-\frac{(x-T)^2}{2\sigma^2}\right] dx, \quad (2.19)$$

де T і σ – параметри нормального розподілу, причому T – математичне очікування випадкової величини часу безвідмовної роботи об'єкта, а σ – середньоквадратичне відхилення випадкової величини. Часто використовують табульовану функцію Лапласа $\Phi(u)$, де $u = t - T / \sigma$ – квантиль нормального розподілу, для визначення функції $Q(t)$.

При $\sigma \ll T$ $P(t)$ та $Q(t)$ пов'язана з функцією $\Phi(u)$ співвідношеннями (2.20) та (2.21) відповідно:

$$P(t) = 0,5 - \Phi(u), \quad (2.20)$$

$$Q(t) = 0,5 + \Phi(u). \quad (2.21)$$

На основі досліджень можна показати, що значення $\lambda(t)$ для нормального розподілу монотонно збільшуються і починають наближатися

до асимптоти $D = \sigma^2$, $t = T$, $y = (t - T) / \sigma$. Необхідно використовувати усічений нормальний розподіл у випадку, якщо нерівність $\sigma \ll T$ не дотримується. Оскільки час при оцінці надійності завжди є величиною позитивною, тобто $0 \leq t \leq \infty$ і дана величина може змінюватися від $-\infty$ до $+\infty$ при нормальному розподілі випадкової величини, то відбувається заміна нормального розподілу на усічений нормальний розподіл. Усічений нормальний розподіл отримується з нормального розподілу шляхом обмеження інтервалу можливих значень досліджуваної величини. Щільність усіченого нормального розподілу $f^y(t)$ при $t_1 \leq t \leq t_2$ визначається з умови (2.22):

$$f^y(t) = c \cdot f(t); \quad f(t) = a(t); \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1; \quad (2.22)$$

де c – нормуючий множник, що розраховується з умови, що площа під кривою щільності зрізаного розподілу становить 1, тобто (2.23):

$$c \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = 1. \quad (2.23)$$

Із (2.23) можна визначити c , u_1 , u_2 (2.24):

$$u_1 = \frac{t_1 - T}{\sigma}; \quad u_2 = \frac{t_2 - T}{\sigma}; \quad c = \frac{1}{\int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = 1} = \frac{1}{[\Phi(u_2) - \Phi(u_1)]}. \quad (2.24)$$

За формулою (2.25) можна визначити ймовірність $P(t)$ безвідмовної роботи системи:

$$P(t) = c[0,5 - \Phi(u)]. \quad (2.25)$$

На рисунку 2.3 зображено графіки залежності, що описують нормальний розподіл величин:

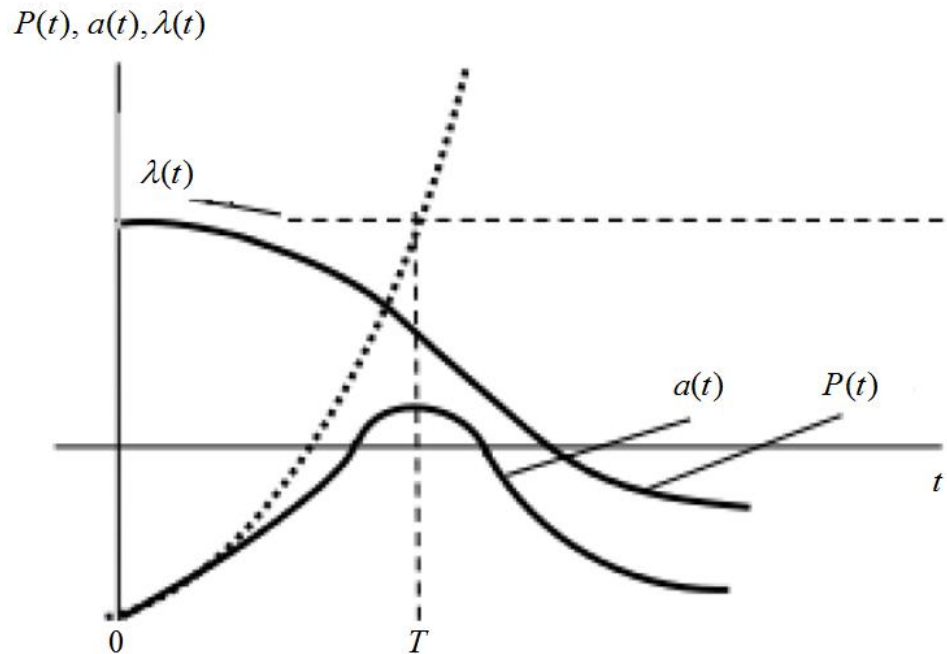


Рисунок 2.3 – Графіки залежностей показників часу при нормальному закону розподілу часу безвідмовної роботи

У результаті аналізу встановлено, що $c \approx 1$ при $T/\sigma > 2$. Для більшості технічних реальних об'єктів виконується зазначена умова, тому у теорії надійності можливе використання звичайного, не усіченого нормального розподілу.

2.3 Визначення показників надійності елементів автоматизованої системи управління

Розрахунок надійності елемента чи системи відбувається у кілька етапів. Перший етап характеризується розбиттям системи на окремі

елементи. На цьому етапі розглядаються первинні елементи, такі як конденсатори, резистори, підшипники, транзистори та інші. Як елементи системи зазвичай розглядаються пристрої, блоки, модулі, для яких показники надійності вже відомі або визначення їх відбувається додатково [29].

Характеристики надійності первинних елементів системи визначаються за допомогою спеціальних випробувань для оцінки надійності та з використанням даних, отриманих у процесі експлуатації. У цьому первинні елементи декомпонуються на складові, а глибина їх розділення на складові визначається метою розрахунку надійності. Наприклад, для таких елементів як резистори такими елементами декомпозиції можуть слугувати виводи, для провідного шару - основа та провідний шар.

На другому етапі відбувається формулювання поняття як окремих елементів системи, так і системи в цілому. Це поняття на початковому етапі формулюється на основі оцінки раптових відмов. Наприклад, причиною відмови для конденсаторів переважно може бути коротке замикання, для резисторів – обрив, для транзисторів – обрив виводів та пробій переходу. Концепція відмови формулюється після цього за допомогою градуйованої оцінки відмов [30, 31].

У процесі експлуатації системи параметри первинних елементів змінюються у часі (опір резисторів, коефіцієнт передачі струму транзисторів, ємність конденсаторів, тощо). допустимі значення параметрів первинних елементів, у разі перевищення яких відбудеться відмова системи, визначаються за результатами розрахунку.

На третьому етапі відбувається підготовка структурної або логічної схеми розрахунку надійності. Структурна розрахункова схема надійності - це наочне уявлення як логічних зв'язків чи графіків умов, у яких об'єкт чи система готові до експлуатації.

Метод блок-схем надійності визначається є найбільш широко

використовуваним методом аналізу ризиків технічних та технологічних систем. Із використанням зазначеного методу можливо оцінити ймовірність можливих настання сприятливих або несприятливих ситуацій та побудувати модель технічної системи. Наведений метод слід використовувати для різноманітних аналітичних способів дослідження надійності.

На четвертому етапі слід визначити характеристики надійності всіх компонентів відповідних груп системи. Важливо, що розрахунок характеристик надійності елементів, що не відновлюються і відновлюються проводиться окремо, при цьому необхідно враховувати частоту і періодичність їх роботи, а також вплив навантаження на надійність елементів. Характеристики надійності системи також визначаються окремо для поступових та раптових відмов.

На п'ятому етапі необхідно відбувається визначення характеристик відновлення для всіх груп елементів, які відповідають за основні зв'язки та передбачається їх відновлення.

Для шостого етапу характерно визначення показників надійності елементів, що відновлюються, і відповідають за основні зв'язки, з урахуванням характеристик відмовостійкості і відновлюваності.

На сьомому етапі відбувається визначення показників надійності з урахуванням структурної та часової надлишковості, а також резервування.

Залежно від вимог, що відносяться до розрахунків, на кожному етапі оцінку показників надійності можна розділити на дві групи:

- попередні розрахунки надійності, при виконанні яких відбувається врахування лише основних чинників, що впливають надійність,
- остаточні розрахунки надійності, при виконанні яких відбувається врахування всіх чинників, що впливають надійність.

На заключному восьмому етапі розрахунку надійності відбувається аналіз одержаних результатів.

2.4 Методи розрахунку надійності

Виділяють такі основні методи визначення надійності елементів автоматизованої системи та системи в цілому [32]:

- метод структурної схеми надійності,
- метод перебору станів,
- перетворення з еквівалентною заміною трикутника на зірку,
- перетворення складних структурних діаграм за допомогою декомпозиції за базовими елементами.

2.4.1 Метод структурної схеми надійності

Метод структурної схеми надійності оснований на умові побудови моделі надійності системи у вигляді структурної схеми із відображенням шляхів сигналу, що забезпечують та гарантують працездатність усієї системи. Насправді при оцінці надійності часто потрібно багаторазовий опис відмов системи. Усі відмови системи мають бути ідентифіковані та перераховані. Крім того, мають бути надані чіткі вказівки щодо:

- параметри ефективності роботи та допустимі межі зміни цих параметрів;
- умов навколишнього середовища та режимів роботи системи;
- функцій, що виконуються системою.

Основним завданням розробки моделі системи є визначення умов її працездатного стану. Якщо можливо кілька визначень, то для кожного з них має бути побудована структурна схема. Потім потрібно розділити систему на блоки, щоб визначити логіку взаємодії системи. Кожен блок системи має бути наскільки можливо великим і статистично незалежним. Блоки не повинні містити надмірності у вигляді резервування. Для спрощення чисельної оцінки кожен блок повинен містити лише ті елементи, які

підпорядковуються однаковому статистичному закону розподілу напрацювань до відмови. Опис відмови системи потім має бути використаний для побудови структурної схеми надійності системи, де з'єднання блоків утворюють "шлях успіху" системи. У цьому випадку шлях між вхідним та вихідним портами повинен проходити через таку комбінацію блоків, яка гарантує функціонування системи.

2.4.2 Метод перебору станів

Застосування методу перебору передбачає, що потрібно послідовно розглянути всі можливі стани системи, щоб визначити стани, в яких система працездатна. Потім необхідно підсумувати ймовірності всіх можливих станів працездатності з метою оцінки надійності системи. Ймовірності працездатних станів системи та їх відповідні комбінації заносяться до таблиці, і оскільки всі зазначені у таблиці працездатні стани системи є незалежні, то сума всіх працездатних станів системи визначить загальну ймовірність безвідмовної роботи системи.

Простота використання є перевагою методу перебору станів. За допомогою комп'ютера його відносно легко реалізувати. Громіздкість є його недоліком. Тому через високу обчислювальну складність цей метод може виявитися незастосовним в складних системах з великою кількістю елементів.

2.4.3 Перетворення з еквівалентною заміною трикутника на зірку

В основу цього методу покладено заміну вузла складної конфігурації на інший вузол більш простої конфігурації. Для нового вузла підбираються еквівалентні характеристики, для того щоб показники надійності перетвореного вузла зберегли свої значення.

2.4.4 Перетворення складних структурних діаграм за допомогою декомпозиції за базовими елементами

Цей метод декомпозиції структурних схем побудований на властивості адитивності ймовірностей, тобто на теоремі про суму ймовірностей несумісних подій.

Якщо відповідно до цієї теореми A і B не є спільними подіями і $C = A + B$, то має місце наступне рівняння (2.26):

$$P(C) = P(A + B) = P(A) + P(B). \quad (2.26)$$

У складних структурних схемах необхідно виділити базові елементи чи групи базових елементів, котрим неможливо застосувати основні правила перетворення структурних схем із паралельно-послідовною структурою.

Для вибраних елементів висуюаються наступні припущення:

- сигнал проходить через базовий елемент, який є працездатним протягом усього часового інтервалу $0 \leq t \leq \infty$, і ймовірність безвідмовної роботи елемента становить $P(t) = 1$ означає, що елемент працює безвідмовно протягом $0 \leq t \leq \infty$. На структурній схемі зазначений елемент замінюється "перемичкою";

- якщо базовий елемент не працює протягом усього інтервалу часу і через нього не проходить сигнал, ймовірність безвідмовної роботи елемента при $0 \leq t \leq \infty$ дорівнює $P(t) = 0$, то цей елемент видаляється зі структурної схеми надійності;

- за наявності двох несумісних подій вихідна схема надійності має бути перетворена на дві нові схеми. Потім слід визначити формули для ймовірності безвідмовної роботи кожної схеми та підсумувати їх, щоб отримати остаточну формулу для ймовірності відмови складної структурної

схеми надійності.

2.4.5 Порівняння методів визначення надійності автоматизованої системи управління технологічними процесами

На основі наведеної вище інформації про методи розрахунку надійності автоматизованих систем управління технологічними процесами можна зробити деякі висновки про доцільність та можливість використання наведених методів для визначення надійності автоматизованих систем управління. Нижче наведено переваги та недоліки кожного з методів.

Метод структурної схеми надійності.

Переваги:

- точність опису схеми;
- наочність візуалізації;
- простота числової оцінки.

Недоліки:

- для більш глибокого аналізу характеристик системи при роботі зі складними структурними схемами необхідно визначити і розглянути всі можливі шляхи проходження потоків між вхідними і вихідними портами системи.

Методи перебору станів.

Перевага:

- є простими та відносно легко реалізовуваними із використанням комп'ютера.

Недолік:

- для складних систем з великою кількістю елементів цей метод може бути незастосовним через значні обчислювальні труднощі.

Метод перетворення з еквівалентною заміною трикутника на зірку.

Перевага:

- дозволяє оцінювати надійність вузлів у системах зі складною структурою.

Недолік:

- наближений метод.

Перетворення складних структурних діаграм за допомогою декомпозиції за базовими елементами

Перевага:

- метод простий у застосуванні, оскільки використовує теореми про суми ймовірностей несумісних подій.

Недолік:

- метод заснований на припущеннях.

На основі наведених переваг та недоліків методів оцінки надійності можна зробити висновок, що для розрахунку надійності автоматизованої системи управління технологічними процесами слід використовувати метод структурної схеми надійності. Зазначений метод є базовим для всіх методів, також його доцільно використовувати для перебору станів системи. Ці методи, попри складність розрахунків, дають точність опису системи, необхідну при оцінці надійності небезпечних технологічних процесів.

2.5 Висновки до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи більш детально розглянуто показники надійності та залежність їх від ймовірності безвідмовної роботи елементів системи. Визначено етапи розрахунку показників надійності: розбиття системи на окремі елементи, формулювання поняття як окремих елементів системи, так і системи в цілому, підготовка структурної або логічної схеми розрахунку надійності.

Виділяють такі основні методи визначення надійності елементів автоматизованої системи та системи в цілому:

- метод структурної схеми надійності,
- метод перебору станів,
- перетворення з еквівалентною заміною трикутника на зірку,
- перетворення складних структурних діаграм за допомогою декомпозиції за базовими елементами.

Проведено аналіз існуючих методів визначення елементів автоматизованої системи та системи в цілому, їх переваг та недоліків, та визначено, що для розрахунку надійності автоматизованої системи управління технологічними процесами слід використовувати метод структурної схеми надійності.

3 АЛГОРИТМІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЕРУВАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯМ

3.1 Вимоги до функціонування насосних станцій

Завдання, які потрібно виконати під час проектування системи автоматизації водопостачання [33-36]:

- підтримання у водопроводі заданого тиску,
- подача води у водопровід споживача повинна бути безперервною,
- захист від аварійних ситуацій, які можуть виникати у свердловині, наприклад, переповнення водою резервуара, нестача води та інші,
- можливість встановлення системи в режим ручного керування технологічним процесом з автоматичного,
- можливість керувати та контролювати з єдиного диспетчерського пункту технологічний процес.

Головною складовою об'єкта автоматизації є свердловина. У роботі планується розглянути систему водопостачання із двома групами свердловин, в кожній з яких є по дві свердловини, які розміщені одна від одної на відстані 0,5 км. Кожна із свердловин обладнана занурювальними насосами, за допомогою яких відбувається забір води із свердловини.

Наступними складовими об'єкта автоматизації є резервуар та насосна станція. Резервуар використовується для накопичення певного заданого рівня води і з'єднаний з усіма свердловинами із використанням трубопроводів та насосної станції першого підйому, а також із насосною станцією другого підйому.

Насосна станція другого підйому є заключною ланкою автоматизованої

системи керування водопостачанням. Приміщення станції другого підйому обладнане необхідними насосами, які з'єднані із резервуаром за допомогою трубопроводу. Із використанням насосів відбувається здійснення безпосереднього забору із резервуару води та направлення її у трубопровід споживача. Без використання сучасних засобів автоматизації та підходів поставлені завдання вирішити неможливо. На рисунку 3.1 наведено схематичне зображення об'єкту автоматизації – автоматизованої системи керування водопостачанням.

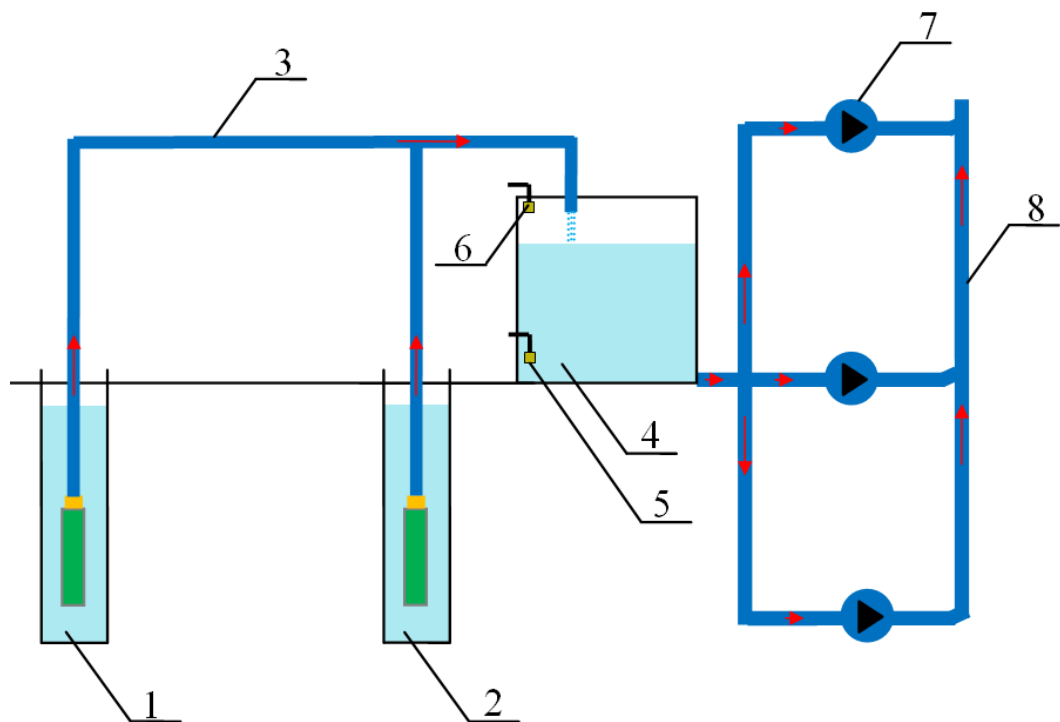


Рисунок 3.1 – Схематичне зображення автоматизованої системи керування водопостачанням, де 1 – перша група свердловин; 2 – друга група свердловин; 3 – трубопровід від свердловин; 4 – резервуар; 5 – датчик нижнього рівня води у резервуарі; 6 - датчик верхнього рівня води у резервуарі; 7 – насоси для постачання води із резервуару споживачам; 8 – трубопровід

На насосних станціях відбувається автоматизація:

- приймання сигналів від вимірювальних пристроїв та передача

сигналів на диспетчерський пункт;

- підтримання та контроль заданих параметрів (наприклад, подачі води, рівня, напору тощо);
- процесів пуску та зупинки насосних агрегатів та допоміжних насосних установок.

Для спостереження та можливою контролю за станом системи використовуються здавачі, які перетворюють контрольоване значення параметру у електричний сигнал, який далі із використанням контролера та відповідної побудованої логіки перетворюється у сигнал керування виконавчим механізмом.

У таблиці 3.1 наведено інформацію про використання різних типів давачів та реле у автоматизованих системах керування насосними агрегатами.

У автоматизованій системі керування водопостачанням існує можливість регулювання наступних параметрів:

- можливість автоматичної або ручної добової зміни тиску;
- точна підтримка заданого рівня тиску;
- енергозбереження за рахунок оптимізації пускових режимів;
- енергозбереження за рахунок виключення надлишкового тиску;
- диспетчеризація, індикація та архівування параметрів;
- захист водопроводу та обладнання автоматизованої системи;
- багаторухове керування.

Основною метою використання системи автоматизованого керування у насосному устаткуванні є узгодження режиму роботи насоса з режимом водопроводу або каналізаційної мережі. Споживання води постійно змінюється з часом відповідно до законів випадкової ймовірності. Значення зміни рівнів споживання води досить широкий. Режим насосної установки повинен постійно регулюватись, щоб реагувати на зміни рівня споживання води.

Таблиця 3.1 – Реле та давачі, що використовуються у автоматизованих системах керування насосними агрегатами

Тип елемента	Функція
Давачі або електроконтактні манометри	керування ланцюгами автоматики при зміні тиску в трубопроводі
Давачі рівня	подача імпульсів на ввімкнення та зупинку насосів при зміні тиску у трубопроводі
Аварійні реле	відключення агрегатів у разі порушення встановленого режиму роботи
Проміжні реле	перемикання окремих ланцюгів у встановленій послідовності
Реле напруги	забезпечення роботи агрегатів напругою необхідного значення
Реле часу	відлік часу, який буде необхідний для виконання певних процесів під час роботи агрегатів
Вакуум реле	підтримка певного розрідження в насосі або у всмоктувальному трубопроводі
Термічні реле	контроль за температурою підшипників і сальників, а у деяких випадках – за витримкою часу
Струменеві реле	керування ланцюгами автоматики в залежності від напрямку руху води в трубопроводі, що контролюється

У зв'язку із наявністю невідповідностей у характеристиках відцентрових насосів та трубопроводів процес регулювання ускладнюється. Щоб збільшити подачу води трубопроводом, необхідно підвищити тиск на насосній станції, а характеристики відцентрового насоса полягають у тому, що витрата води насосом зменшується при збільшенні подачі води, в той час як система

водопостачання працює з надлишковим тиском. Частково надлишковий тиск гаситься у водорозбірній арматурі у споживача або в дроселюючих пристроях. Під дією надлишкового тиску збільшується витікання та неефективна витрата води, збільшується механічна напруга на стінках труби.

Регулюючи швидкість роботи насоса, його параметри налаштовуються на режим роботи водопроводу або каналізаційної мережі. Він оснащений регульованим приводом зміни швидкості насоса, тобто електродвигун підключений до насоса через перетворювач частоти. Значення швидкості обертання насоса визначається автоматизованою системою керування водопостачанням, тобто відбувається врахування режиму роботи та встановлюється автоматично залежно від багатьох факторів: кількості насосних установок, що встановлені для подачі води в мережу; рівня води в резервуарах; витрати води в системі; кількості паралельно працюючих насосів; значення статичного і динамічного протитиску.

До цього часу дроселювання напірних клапанів залишається поширеним методом регулювання. Перевагою цього методу є простота його застосування, а істотним недоліком – неекономічність.

Через підвищений гідравлічний опір трубопровідної системи насосний агрегат працює з підвищеним тиском. Підвищення напору через зміну гідравлічного опору не є постійним значенням і залежить від витрати рідини, тобто має вплив на динамічну складову напору, що створюється насосним агрегатом, змінює крутизну характеристик трубопроводу.

Якщо насосна установка працює з меншою кількістю подачі, ніж розраховано, існує невідповідність між напором, що створюється насосом, та тиском, необхідним для подачі певної кількості рідини (тобто перевищення напору насоса). Порівняння характеристик трубопроводів і відцентрових насосів свідчить про те, що зі зменшенням подачі необхідний тиск також зменшується, і навпаки.

Таким чином, найкращий режим роботи полягає в тому, щоб тиск насоса, що розвивається, дорівнював тиску, необхідному для подачі води. Такий режим може бути реалізований за допомогою електроприводу з частотним керуванням.

Система водопостачання передбачає застосування наступних насосних станцій:

- станції насосні першого підйому;
- станції насосні другого підйому;
- станції підвищувальні;
- станції циркуляційні (оборотного водопостачання);
- станції перекачувальні;
- станції шламові;
- станції дренажні.

Насосна станція першого підйому (НС1) використовується для збирання води з джерела та подачі її на споруди для очищення, або, якщо очищення не передбачається, її можна використовувати відповідно до прийнятої схеми водопостачання, тобто збирання води у резервуарі або подача у розподільчу мережу..

Зазвичай вони знаходяться за межами території підприємства і розташовані на березі водойми. НС1 слід розміщувати там, де немає повеней, але він повинен забезпечувати надійний водозабір при низькому рівні води. З цієї причини в основному будуються заглиблені станції, і в цьому випадку основа станції знаходиться нижче рівня води.

Форма НС1 має вигляд циліндра. Зменшенню діаметру будівлі та компактності компонування обладнання приділяється особлива увага. З цією метою найчастіше застосовуються насоси вертикального типу, при цьому арматура та двигун розташовуються на другому поверсі. Кількість насосів повинна бути найменшою.

Виробничі компанії з різними вимогами до якості води можуть встановлювати насоси НС1, які подають споживачам неочищену воду, а також такі, які подають воду на очисні споруди. Таким чином, відбувається об'єднання насосних станцій НС1 НС2.

Камери НС1 та водозабору також часто поєднуються в одну конструкцію.

Насосні станції другого підйому призначені для постачання споживачам води з резервуарів для чистої води. Зазвичай вони поєднуються із циркуляційними станціями на станціях водопостачання. Така комбінована станція має назву циркуляційна станція. Вони можуть обслуговувати не одну, а навіть декілька циркуляційних систем, тому можуть бути обладнані декілька ми насосами.

Розташування циркуляційних станцій відбувається у прямокутних будинках із шириною прольоту 6, 12 та 18 м, і насоси цих станцій забирають відпрацьовану воду із резервуарів для гарячої та холодної води. Ці резервуари часто розміщують під землю. Таким чином, підлога машинного відділення насосної станції також заглиблена, з метою забезпечення необхідної висоти всмоктування насоса.

Коли температура води перевищує 30°C, насос встановлюється таким чином, щоб він перебував під перегородкою на нижчому рівні води в баку. Необхідно забезпечити достатню опору на вході в насос при температурі води вище 60°C.

Встановлення насосів у залі відбувається таким чином, щоб зробити неможливими зайві обертання трубопроводів. Трубопровід прокладається безпосередньо по підлозі чи у каналі. Прокладання по підлозі є економічно вигіднішим. Над трубопроводом потрібно споруджувати перехідні містки.

Вбудовані насосні станції обладнані захистом від затоплення у разі аварії. Це може бути встановлення дренажного насоса або злив у

каналізацію.

Для підвищення тиску води в окремих приміщеннях, агрегатах чи цехах використовуються станції підкачування (підвищувальні насосні станції).

Для підйому відпрацьованої води у загальну систему трубопроводів від низькорозташованих окремих споживачів призначені перекачуючі станції.

Для перекачування у шламонакопичувачі або відстійники різних відходів виробництва (шламів, хвостів гірських порід, шлаків та ін.) використовуються шламіві насосні станції.

Для відкачування випадкової води з різних заглиблених ділянок або ґрунтових вод використовуються дренажні насосні станції та установки.

До кожної насосної станції та системи водопостачання в цілому висуваються необхідні вимоги до надійності. Такі вимоги поділяються на три категорії залежно від їх рівня:

- перша категорія надійності включає насосні станції та системи водопостачання хімічної, нафтохімічної, нафтопереробної, металургійної, а також на електростанціях. Відключення водопостачання на цих підприємствах заборонено. Зниження подачі води допускається на термін до 3 діб і лише на 30% від розрахункової подачі. Зниження рівня подачі нижче за цю межу допускається на термін не більше 10 хвилин;

- друга категорія надійності включає системи керування водопостачанням таких підприємств, як машинобудівна, гірничодобувна, вугільна, нафтовидобувна. На цих підприємствах допускається зниження подачі води на 30% терміном до 15 діб та перерва у подачі води до 5 годин;

- третя категорія надійності включає системи керування водопостачанням малих промислових підприємств, на яких є допустиме скорочення подачі води на 30% протягом одного м'ясяця, а також можливе призупинення подачі води строком до однієї доби.

3.2 Розробка алгоритму керування насосами, алгоритму збору та обробки інформації

Керування шахтними колодзями, артезіанськими свердловинами, променевими водозаборами та іншими підземними вододжерелами має враховувати низку особливостей та враховувати наступні фактори:

- аспекти спільної роботи групи свердловин (колодязів);
- гідравлічні умови свердловин (колодязів);
- економічні показники свердловин (колодязів);
- експлуатаційні особливості свердловин (колодязів).

Експлуатаційні характеристики накладають деякі обмеження на експлуатацію свердловин (колодязів). Слід уникати частих ввімкнень, вимкнень свердловин, частих ривків, що може призвести до піскування свердловини (осідання піску). Найчастіше пуск свердловини пов'язаний з ремонтом чи огляду працездатності насосу, необхідністю випуску води (короткочасного) з піщаною сумішшю.

Щоб уникнути перевантаження колекторної труби та лінії електропередач, запуск кількох свердловин потрібно здійснювати через проміжки часу (наприклад, 10 хв.) і поступово. Заборонено вимикати свердловини, що працюють на спеціальних споживачів. У шахтній свердловині із двома насосами рекомендується, щоб один насос працював безперервно, а інший робота іншого відбувалась в міру необхідності.

Потрібно забезпечити не допускання опускання рівня води нижче максимально допустимого значення, тобто постійно здійснювати контроль її рівня у свердловинах.

Алгоритм, що використовується для керування свердловиною, дозволяє розділити її на 3 групи:

- перша (група А) – діючі в даний час свердловини;
- друга (група В) – резервні свердловини;

- третя (група С) – свердловини, які готові до роботи, але знаходяться у простої.

В пам'яті комп'ютера відбувається сортування масивів номерів свердловин, залежно від значення певного енергоспоживання. Свердловини з найбільшим питомим енергоспоживанням повинні бути видалені з масиву А, якщо виникає необхідність зменшити подачу води від водозабору. Кількість цих свердловин повинна переходити від масиву А до масиву С. Щоб збільшити подачу води, необхідно вжити протилежних дій, якщо це необхідно. При цьому слід стежити за часом експлуатації кожної свердловини, проводити своєчасний профілактичний огляд чи ремонт. У цьому випадку кількість свердловин, що виведені з експлуатації, повинна бути перенесена з масиву А на масив В.

Розглянемо алгоритм відкачування води із резервуару (рис. 3.2), для забезпечення подачі її кінцевим споживачам.

Автоматизована система керування водопостачанням у своєму складі містить:

- резервуар;
- давачі нижнього та верхнього рівня, що розміщені на резервуарі;
- 3 насоси (двигуни), що забезпечують відкачування води;
- кнопка «Старт»;
- кнопка «Стоп»;
- кнопка «Аварійне відкачування»;
- 4 сигнальні лампи:
 - перша, друга, третя лампи сигналізують про роботу першого, другого, третього насосів відповідно;
 - четверта лампа сигналізує про режим роботи системи (режим «Робочий» - лампа вимкнена, режим «Швидке відкачування» - лампа ввімкнена, режим «Аварійне відкачування» - лампа миготить з періодом 1 с).

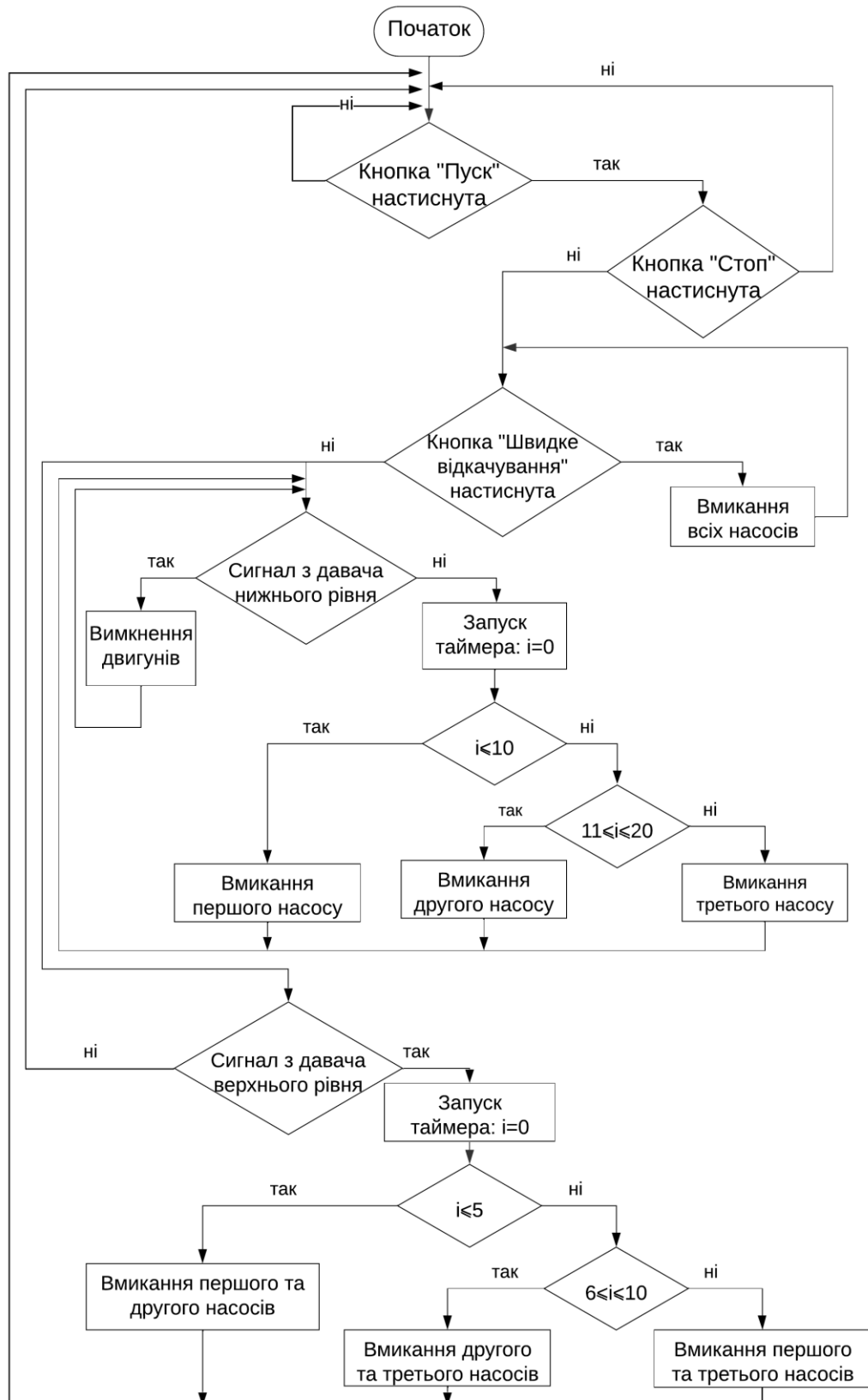


Рисунок 3.2 – Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування водопостачальною станцією

Із використанням кнопочних вимикачів та даних, що отримані з давачів верхнього та нижнього рівнів, відбувається керування режимами роботи автоматизованої системи керування водопостачальною станцією.

Сигнали, що отримані від давачів верхнього та нижнього рівнів, сигналізують про заповнення резервуару або про те, що він порожній, відповідно.

При короткочасному натисканні на кнопку «Старт» відбувається початок роботи автоматизованої системи, а при натисканні на кнопку «Стоп» - відбувається зупинка її роботи. При натисканні на кнопку «Аварійна зупинка» (кнопка з фіксацією) відбувається знеструмлення кола керування автоматизованою системою. Про роботу певного двигуна насосу сповіщає відповідна лампа.

Автоматизована система керування водопостачанням може забезпечувати роботу у трьох режимах:

- режим «Робочий»;
- режим «Швидке відкачування»;
- режим «Аварійне відкачування».

У робочому режимі роботи автоматизованої системи керування водопостачанням з давачів верхнього та нижнього рівнів сигнал не надходить. Двигуни насосів працюють по черзі з частотою 0,1 Гц (тобто, з інтервалом 10 с.). Робота двигунів призупиняється при отриманні сигналу з давача нижнього рівня. При отриманні сигналу з давача верхнього рівня відбувається перехід системи у режим «Швидке відкачування». При зникненні того або іншого сигналів, система знову повертається у робочий режим роботи.

У режимі «Швидке відкачування» двигуни насосів працюють з інтервалом 0,2 Гц (інтервалом 5 с.). Вмикання двигунів відбувається парами: спочатку перший та другий двигуни насосів, потім перший та третій, далі другий та третій і т.д. циклічно. При зникненні сигналу з давача верхнього рівня автоматизована система управління водопостачанням переходить у

робочий режим роботи.

Для активування режиму «Аварійне відкачування» слід натиснути кнопку «Аварійне відкачування». Всі три двигуни насосів незалежно від даних, що отримані від здавачів верхнього та нижнього рівнів, переходять у ввімкнений стан. При відпусканні кнопки «Аварійне відкачування» режим деактивується. Робота автоматизованої системи переходить у стан робочий або «Швидке відкачування» залежно від показів здавачів верхнього та нижнього рівнів.

3.4 Висновки до третього розділу

У третьому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано об'єкт автоматизації та визначено вимоги до функціонування насосних станцій.

У автоматизованій системі керування водопостачанням існує можливість регулювання наступних параметрів:

- можливість автоматичної або ручної добової зміни тиску;
- точна підтримка заданого рівня тиску;
- енергозбереження за рахунок оптимізації пускових режимів;
- енергозбереження за рахунок виключення надлишкового тиску;
- диспетчеризація, індикація та архівування параметрів;
- захист водопроводу та обладнання автоматизованої системи;
- багаторухове керування.

Розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи керування водопостачанням, відкачування води із резервуару. Автоматизована система керування водопостачанням може забезпечувати роботу у трьох режимах:

- режим робочий;
- режим «Швидке відкачування»;
- режим «Аварійне відкачування».

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯМ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ ФУНКЦІОНАЛЬНОЮ БЕЗПЕКОЮ

4.1 Обґрунтування вибору компонентів автоматизованої системи керування водопостачанням

Програмований логічний контролер – це варіант заміни застарілого електрообладнання та релейної логіки при модернізації існуючого технічного обладнання, виконується на базі мікропроцесора та призначений для керування різним обладнанням та технологічними процесами у масштабі реального часу. ПЛК – це універсальний технічний інструмент, що дозволяє для різних галузей промисловості створювати технічні комплекси у найкоротші терміни. Алгоритм управління визначено у вигляді набору логічних виразів (програм) із спеціально розробленою мовою програмування у поєднанні з потужним інструментом налаштування, який визначає простоту введення в експлуатацію та подальшого обслуговування технічного комплексу.

Для запропонованої автоматизованої системи керування системою водопостачанням обрано мікроконтролер фірми Siemens, які використовують як на лабораторних стендах, так і на виробництві. На рис. 4.1 наведено зовнішній вигляд логічного модуля LOGO! Siemens SIMATIC [37, 38].

Можливість відображення інформації на дисплеї та програмування контролерів з клавіатури є перевагою використання запропонованих логічних модулів.

Кожен цикл роботи логічного модуля складається із виконання трьох етапів:

- отримання інформації від об'єкта керування;
- на основі запропонованого вище алгоритму прийняття

відповідного рішення;

– формування та надсилання керуючого сигналу на об'єкт управління.



Рисунок 4.1 –Зовнішній вигляд логічного модуля
LOGO! Siemens SIMATIC

Вхідна інформація від датчиків, кнопок, перемикачів на вхід логічного модуля надходить у вигляді цифрових сигналів. За цими сигналами відбувається послідовне обчислення логічних виразів та прийняття рішення, яке полягає у ввімкненні/вимкненні цифрових сигналів на виході, за допомогою яких відбувається керування зовнішніх пристроїв. Такими пристроями є двигуни насосів, лампи індикації та ін.

Програмування логічних модулів здійснюється у професійному середовищі Logo! Soft Comfort.

Оскільки логічний модуль не містить достатньої кількості входів та виходів необхідної для побудови автоматизованої системи керування, то додатково потрібно використовувати модулі введення та виведення. Також потрібно вирішити задачу можливості роботи з виконавчими механізмами та

здавачами локально, оскільки елементи системи розподілені по території, а відстань між ними може бути до 1 км, та надсилати сигнали із використанням інтерфейсу RS-485 іншим пристроям.

На рисунку 4.2 наведено зовнішній вигляд модуля введення аналогових сигналів.



Рисунок 4.2 – Модуль введення аналоговий SIEMENS! 8 6ED1 055-1MA00-0BA2 [39]

Для можливості забезпечення наявності додаткових дискретних вхідів/виходів використовується модуль вводу-виводу дискретних сигналів Siemens 6ES7323-1BH010AA0. Основними технічними характеристиками є:

- 8 входів (24В);
- 8 виходів (24В/0.5А);
- гальванічний поділ внутрішніх і зовнішніх ланцюгів;
- сумарний вихідний струм 2А.

На рисунку 4.3 наведено зовнішній вигляд модуля вводу-виводу дискретних сигналів Siemens 6ES7323-1BH010AA0 [40].



Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд модуля вводу-виводу дискретних сигналів Siemens 6ES7323-1BH010AA0

Для керування частотою обертання асинхронних двигунів у складі приводів для роботи в автоматизованих системах керування водопостачанням необхідно використовувати частотний перетворювач.

Для реалізації автоматизованої системи керування водопостачанням запропоновано встановлювати перетворювачі частоти HYUNDAI N700E-004HF [41] на двигун насосу. На рисунку 4.4 зображено зовнішній вигляд частотного перетворювача.



Рисунок 4.4 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти
HYUNDAI N700E-004HF

Векторний метод керування двигунами є основною перевагою частотних перетворювачів серії N700. Векторний метод керування використовується тоді, коли при заданій величині номінального моменту існує необхідність розширення діапазону регулювання частоти (0-50 Гц для 150-200% номінального моменту короткочасно) а також відбувається зміна навантаження при використанні обладнання на одній частоті (відсутність залежності між моментом навантаження та швидкістю обертання). Векторний метод керування двигунами здійснюється із використанням складних математичних розрахунків процесором перетворювача в режимі реального часу і ґрунтуються на отриманій інформації про напругу, вихідний струм та частоту. відбувається підвищення напруги електродвигуна у випадку збільшення навантаження на його валу.

Особливості запропонованих частотних перетворювачів:

- високі показники характеристик крутного моменту та швидкості;
- покращене автоматичне налаштування перетворювача в мережному та автономному режимах;
- посилене векторне регулювання за низьких швидкостей;
- зниження величини крутного моменту;
- розширення функції багатошвидкісного регулювання;

Давачі рівня 7ML5501-0AA10 фірми Siemens ємнісного типу, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 4.5, призначені для сигналізації та вимірювання рівнів рідин [42].



Рисунок 4.5 – Давач рівня 7ML5501-0AA10 фірми Siemens

4.2 Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи керування водопостачанням

LOGO!Soft Comfort — програмне забезпечення запропоноване компанією Siemens, що використовується для програмування логічних модулів LOGO! із застосуванням персонального комп'ютера.

Для програмування у LOGO!Soft Comfort доступно використання двох мов, що визначаються стандартом IEC 61131-3:

- LAD (Ladder Diagram) – мова релейних схем;
- FBD (Function Block Diagram) – мова функціональних блоків.

Також можна створювати власні функціональні блоки на мові FBD із використанням UDF діаграм (User-defined function) [43, 44].

На рисунку 4.6 наведено програмний код роботи автоматизованої системи керування водопостачанням, що виконане у програмному забезпеченні LOGO!Soft Comfort із використанням мови FBD.

У програмному коді використано наступні вхідні виводи:

- I1 – кнопка «Старт», при натисканні робота автоматизованої системи встановлюється у робочий режим;
- I2 – кнопка «Стоп», відбувається зупинка роботи автоматизованої системи;
- I3 – кнопка «Аварійне відкачування», відбувається перехід автоматизованої системи у режим аварійного відкачування, при якому працюють всі три насоси;
- I4 – сигнал з давача верхнього рівня, перехід у режим «Швидке відкачування»;
- I5 – сигнал з давача нижнього рівня, відбувається припинення роботи всіх насосів.

У програмному коді використано наступні вихідні виводи:

- Q1 – сигнал, що задає роботу двигуна першого насосу;
- Q2 – сигнал, що задає роботу двигуна другого насосу;
- Q3 – сигнал, що задає роботу двигуна третього насосу;
- Q4 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи, миготіння якої може відбуватись у трьох режимах: лампа не світить – система знаходиться у робочому режимі роботи, лампа світить постійно – встановлений режим «Швидке відкачування», лампа світить періодично – встановлений режим

«Аварійне відкачування».

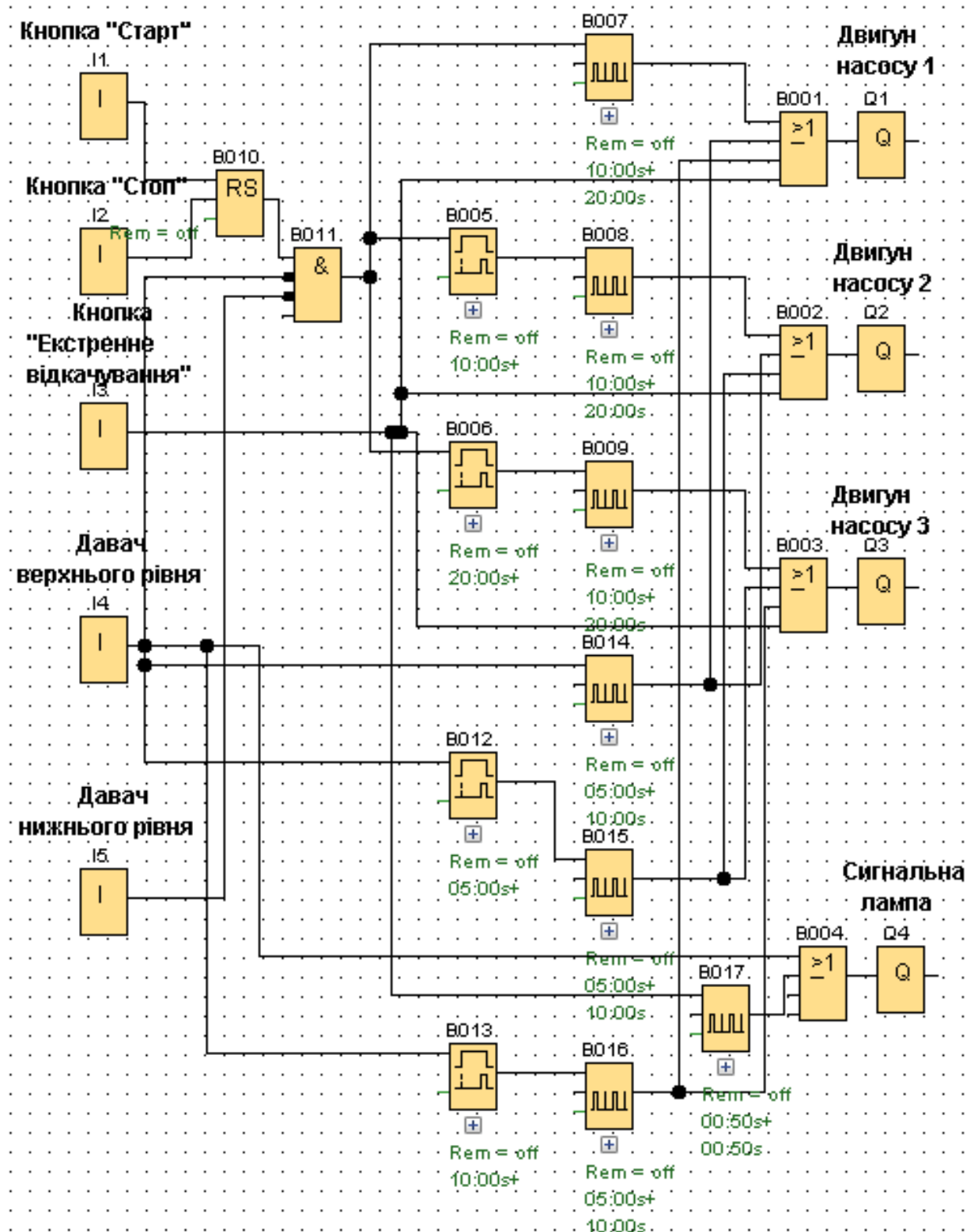


Рисунок 4.6 – Програмний код роботи автоматизованої системи керування

водопостачанням

Для фіксування натиснення/ненатиснення кнопок «Старт» або «Стоп» у запропонованому програмному коді використовується тригер, для ввімкнення/вимкнення автоматизованої станції.

Для можливості почергового вмикання/вимикання двигунів насосів використано блоки On-Delay (затримка ввімкнення) B005, B006 та Asynchronous Pulse Generator (генератор серії імпульсів) B007, B008 та B009. Затримка в блоці B005 встановлюється 10 с., в блоці B006 – 20 с., що дозволяє забезпечити затримку вмикання двигунів насосів та циклічність їх роботи у робочому режимі. Ці блоки впливають на час вмикання генераторів серії імпульсів B008 та B009 у робочому режимі роботи. Також для цих генераторів імпульсів встановлюються наступні параметри:

- interpulse width (тривалість інтервалу) – 20 сек.;
- pulse width (тривалість імпульсу) – 10 сек.

Від входу I3 до блоків 4-АБО натисканням кнопки «Аварійне відкачування» відбувається запуск роботи всіх двигунів трьох насосів незалежно від показів давачів верхнього та нижнього рівнів. Відпускання кнопки, тобто на виході I3 встановлюється значення логічного «0», при зводиться до переходу у робочий режим роботи, або режим «Швидке відкачування».

Для переходу у режим «Швидке відкачування» встановлюються зв'язок із I4, тобто від давача верхнього рівня, зв'язок із I5 встановлюється для забезпечення вимкнення двигунів насосів при нижньому рівні води у резервуарі.

Використання блоків On-Delay (затримка ввімкнення) B012, B013 та Asynchronous Pulse Generator (генератор серії імпульсів) B014, B015 та B016 задається реалізація режиму «Швидке відкачування», тобто циклічна робота пар двигунів насосів з інтервалом 5 сек. При зникненні сигналу з давача верхнього рівня робота автоматизованої системи керування водопостачанням

переходить у робочий режим.

Для блоку On-Delay B012 встановлюються затримка ввімкнення 5 сек., для B013 – 10 сек. Таким чином ввімкнення генераторів Asynchronous Pulse Generator B015 та B015 відбувається з затримкою і забезпечується циклічна робота двигунів насосів у режимі «Швидке відкачування», при цьому сигнальна лампа блимає з частотою 1 Гц.

Часові параметри для B014, B015, B016 встановлюються наступним чином:

- interpulse width (тривалість інтервалу) – 10 сек.;
- pulse width (тривалість імпульсу) – 5 сек.

Для встановлення роботи сигнальної лампочк у режимі миготіння додається до схеми Asynchronous Pulse Generator B017, у властивостях якого задаємо часові параметри:

- interpulse width (тривалість інтервалу) – 0,5 сек.;
- pulse width (тривалість імпульсу) – 0,5 сек.

4.3 Розробка програмного забезпечення для автоматизованої системи із підвищеною функціональною безпекою

До складу автоматизованої системи керування водопостачанням входять велика кількість датчиків. Вихід з ладу одного з них може спровокувати роботу системи у невірному режимі та призвести до катастрофічних наслідків. Тому контроль та діагностика справності цих елементів є досить важливим. Для підвищення функціональної безпеки системи в цілому запропоновано застосувати вид резервування датчиків, який має назву дублювання. На рис. 4.7 наведено програмний код керування системою автоматизованого керування із підвищеною функціональною безпекою.

Від програмного коду, що наведений на рисунку 4.2, програмний код, що наведений вище, відрізняється тим, що додатково обробляються сигнали

I6 та I7, які надходять з резервованих (дубльованих) давачів верхнього та нижнього рівнів відповідно. Логіка роботи такої системи із врахуванням сигналів від дубльованих давачів наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Таблиця істинності для прийняття рішення про спрацювання давача верхнього рівня

I4	I6	f
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Згідно з даними таблиці 4.1 можна зробити наступний висновок про роботу системи. Якщо на входах I4 та I6 однакові значення, то а виході логічного елемента OR встановиться значення логічного «0» при значеннях I4, I6, що дорівнюють «0», або логічної «1» при значеннях I4, I6, що дорівнюють «1». Якщо значення на виходах давачів відрізняються, тобто на виході одного з них встановлюється значення логічної «1», а на іншому – логічного «0», то вважається, що один із давачів є несправним, але робота автоматизованої системи керування водопостачанням триває, і оператору повідомляється про несправність одного з давачів. Для можливості контролю та діагностики стану давачів у програмний код потрібно додати відповідний функціональний блок. Частина програмного коду виконана із застосуванням UDF у LOGO! Soft Comfort, його зображення наведено на рисунку 4.8.

Логіка роботи наведеного функціонального блоку наведена у таблиці 4.2.

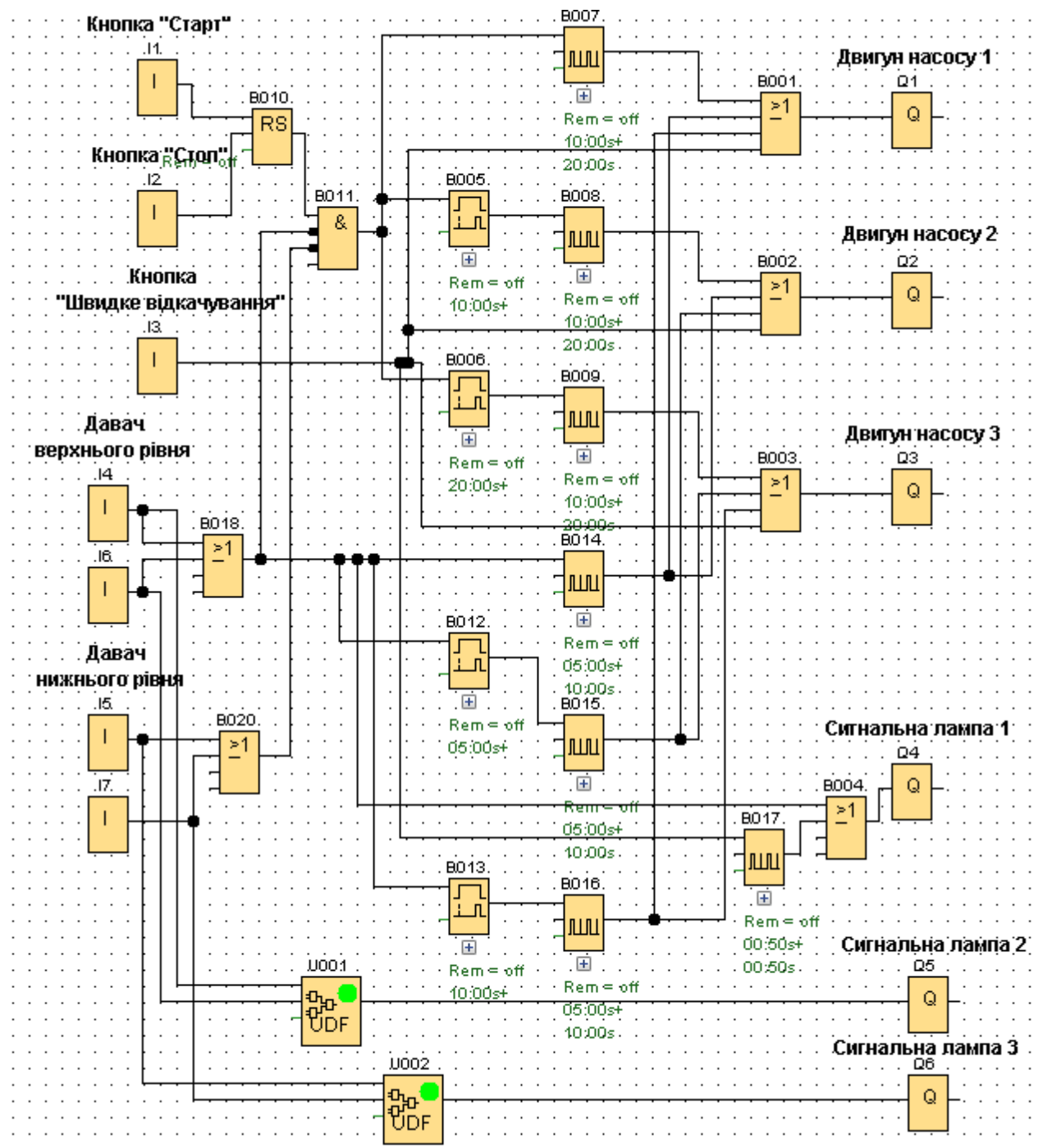


Рисунок 4.7 – Програмний код керування системою автоматизованого керування із підвищеною функціональною безпекою

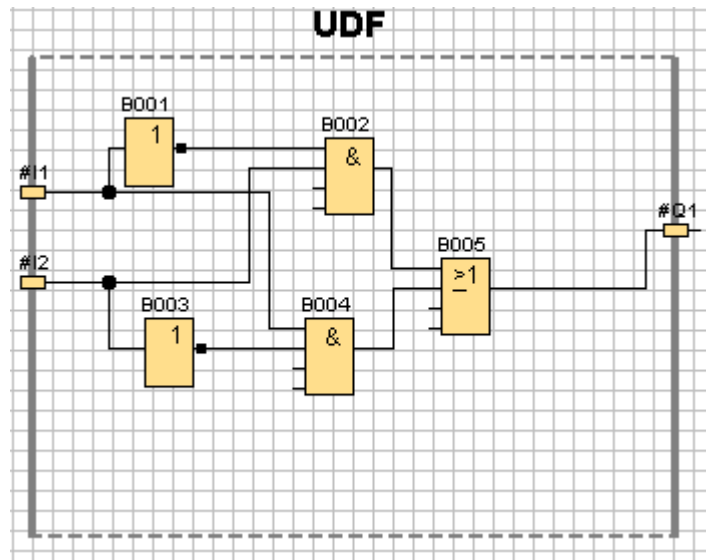


Рисунок 4.8 – Програмний код функціонального блоку діагностики справності резервованих датчиків

Таблиця 4.2 – Таблиця істинності для прийняття рішення про справність датчиків верхнього рівня

I4	I6	f
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Згідно з даними, що наведені у таблиці 4.2, можна зробити висновок, що сигнал логічної «1» на виході цього блоку з'явиться лише у випадку різних значень на виходах дубльованих датчиків верхнього рівня. Запропоновано використовувати сигнальну лампочку для повідомлення оператора про вихід з ладу одного з датчиків. Оператор, отримавши сигнал, тобто лампа засвітилась, приймає рішення про заміну одного з датчиків.

Аналогічним чином відбувається дублювання датчиків нижнього рівня. До сигналу I5 додатково вводиться сигнал з дубльованого датчика I7.

4.4 Розрахунок надійності контуру контролю рівня води у резервуарі

Проведемо оцінку надійності контуру контролю води у резервуарі із використанням методу декомпозиції на прикладі контуру оцінки верхнього рівня води у резервуарі. Контур контролю рівня води складається із датчика верхнього рівня та лінії зв'язку, із допомогою якої відбувається надсилаються дані. На рисунку 4.9 наведено структурно-функціональну схему контуру.

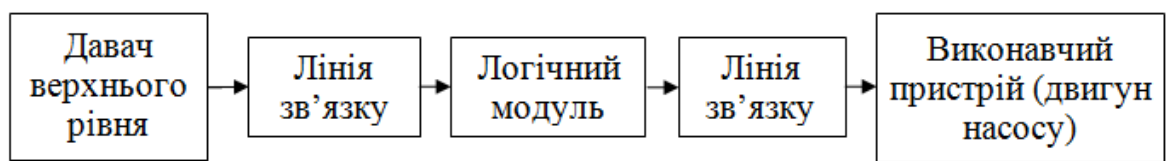


Рисунок 4.9 – Структурно-функціональна схема контуру контролю верхнього рівня води

Із використанням закону експоненційного розподілу часу проведемо оцінку ймовірності безвідмовної роботи елементів контуру за формулою (4.1) [45]:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t} \quad (4.1)$$

де λ_i – інтенсивність відмов, год⁻¹, t – час напрацювання, год.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи послідовно-організованої контуру здійснюється за формулою (4.2):

$$P_k(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = P_d \cdot P_{ЛЗ} \cdot P_{ЛМ} \cdot P_{ЛЗ} \cdot P_{ВП}, \quad (4.2)$$

де $P_k(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи контуру; P_d – ймовірність

безвідмовної роботи давача; $P_{ЛЗ}$ – ймовірність безвідмовної роботи лінії зв'язку; $P_{ЛМ}$ – ймовірність безвідмовної роботи логічного модуля; $P_{ВП}$ – ймовірність безвідмовної роботи виконавчого пристрою.

Згідно (4.1) визначимо ймовірність безвідмовною роботи елементів контуру за час напрацювання 2000 год. Ймовірність безвідмовної роботи давача:

$$P_d = e^{-2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 4000} = 0,9896.$$

Ймовірність безвідмовної роботи лінії зв'язку:

$$P_{ЛЗ} = e^{-10^{-5} \cdot 4000} = 0,9608.$$

Ймовірність безвідмовної роботи логічного модуля:

$$P_{ЛМ} = e^{-0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 4000} = 0,9988.$$

Ймовірність безвідмовної роботи виконавчого пристрою:

$$P_{ВП} = e^{-8,6 \cdot 10^{-6} \cdot 4000} = 0,9662.$$

Згідно (4.2) ймовірність контуру становитиме:

$$P_k(2000) = 0,9948 \cdot 0,9802 \cdot 0,9994 \cdot 0,9802 \cdot 0,983 = 0,9389.$$

Отримане значення є досить низьким, що свідчить про недостатню надійність контуру контролю рівня води у резервуарі. Це значення можливо збільшити при резервуванні елементів контуру.

При резервуванні елементів ймовірність безвідмовної роботи контуру визначається за виразом (4.3):

$$P_{i,\text{рез}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_i(t)), \quad (4.3)$$

де k – кількість повторів елементів при резервуванні.

Проведемо оцінку надійності при резервуванні давачів рівня. На рисунку 4.10 наведено структурно-функціональну схему контуру контролю верхнього рівня води із резервуванням давачів.

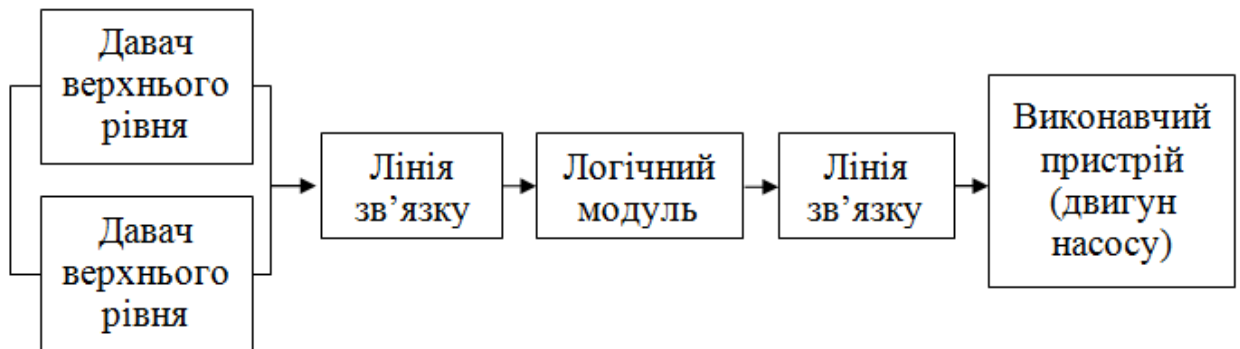


Рисунок 4.10 – Структурно-функціональна схема контуру контролю верхнього рівня води із резервуванням давачів

Згідно (4.3) ймовірність безвідмовної роботи резервованих давачів становитиме:

$$P_{\text{д.рез}}(2000) = 1 - (1 - 0,9896) \cdot (1 - 0,9896) = 0,9999,$$

А ймовірність безвідмовної роботи контуру $P_{к1}(t)$ при резервуванні давачів за (4.3) набуде значення:

$$P_{к1}(2000) = 0,9999 \cdot 0,9802 \cdot 0,9994 \cdot 0,9802 \cdot 0,983 = 0,9438.$$

При порівнянні отриманих значень $P_{\kappa}(t)$ та $P_{\kappa_1}(t)$ показало, що резервування дало можливість підвищити ймовірність безвідмовної роботи контуру, але це значення все одно є замалим.

З метою підвищення ймовірності безвідмовної роботи контуру здійснюється резервування ліній зв'язку. На рисунку 4.11 наведено структурно-функціональну схему контуру контролю верхнього рівня води із резервуванням давачів та ліній зв'язку.

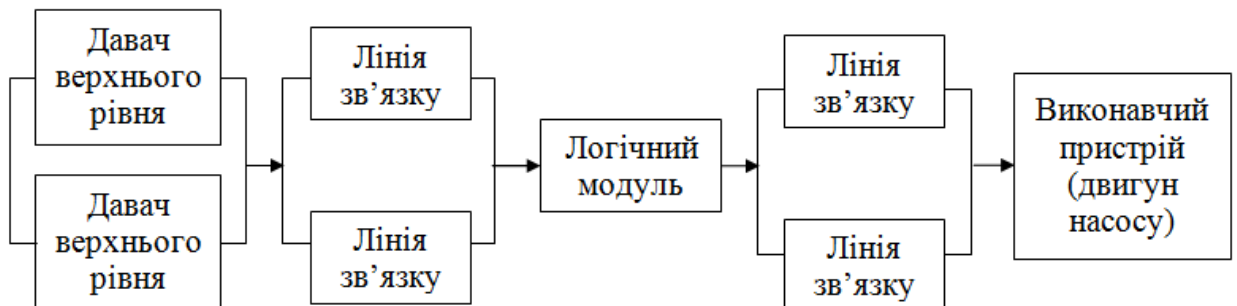


Рисунок 4.11 – Структурно-функціональна схема контуру контролю верхнього рівня води із резервуванням давачів та ліній зв'язку

Згідно (4.3) ймовірність безвідмовної роботи резервованих ліній зв'язку становитиме:

$$P_{\text{ЛЗ,рез}}(2000) = 1 - (1 - 0,9802) \cdot (1 - 0,9802) = 0,9996,$$

А ймовірність безвідмовної роботи контуру $P_{\kappa_2}(t)$ при резервуванні давачів та ланій зв'язку за (4.2) набуде значення:

$$P_{\kappa_2}(2000) = 0,9999 \cdot 0,9996 \cdot 0,9994 \cdot 0,9996 \cdot 0,983 = 0,9816.$$

У результаті проведених розрахунків показано, що резервування

давачів та ліній зв'язку дає можливість значно підвищити ймовірність безвідмовної роботи контуру контролю рівня води, а отже автоматизованої системи керування водопостачанням в цілому. Аналогічним чином потрібно провести резервування ще одного контуру контролю води – нижнього рівня.

4.5 Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи розроблено програмний код керування автоматизованою системою на мові FBD у програмному забезпеченні LOGO! Soft Comfort компанії Siemens. Розроблений програмний код дозволяє встановлювати відповідні режими роботи автоматизованою системою керування водопостачанням.

Розроблено метод підвищення функціональної безпеки та надійності функціонування автоматизованої системи керування водопостачанням, який полягає у використанні резервування елементів контуру контролю рівня води у резервуарі. Показано, що без використання резервування (дублювання) елементів контуру, ймовірність безвідмовної роботи знаходилась на рівні 0,9389, при резервуванні давачів це значення збільшилось до 0,9438, а при резервуванні давачів та ліній зв'язку це значення вдалось збільшити до 0,9816, що відповідає поставленому завданню.

ВИСНОВКИ

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз можливих відмов, їх причин та наслідків, показано, що слід враховувати чинники, які впливають на надійність функціонування автоматизованої системи на всіх етапах життєвого циклу: проектування, розробка, експлуатація. Ймовірність відмов (або ймовірність безвідмовної роботи автоматизованої системи) визначається показниками надійності елементів та системи в цілому. Розглянуто методи підвищення показників надійності функціонування автоматизованої системи.

У другому розділі кваліфікаційної роботи більш детально розглянуто показники надійності та залежність їх від ймовірності безвідмовної роботи елементів системи. Визначено етапи розрахунку показників надійності: розбиття системи на окремі елементи, формулювання поняття як окремих елементів системи, так і системи в цілому, підготовка структурної або логічної схеми розрахунку надійності.

Виділяють такі основні методи визначення надійності елементів автоматизованої системи та системи в цілому:

- метод структурної схеми надійності,
- метод перебору станів,
- перетворення з еквівалентною заміною трикутника на зірку,
- перетворення складних структурних діаграм за допомогою декомпозиції за базовими елементами.

Проведено аналіз існуючих методів визначення елементів автоматизованої системи та системи в цілому, їх переваг та недоліків, та визначено, що для розрахунку надійності автоматизованої системи управління технологічними процесами слід використовувати метод структурної схеми надійності.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано об'єкт автоматизації та визначено вимоги до функціонування насосних станцій:

У автоматизованій системі керування водопостачанням існує можливість регулювання наступних параметрів:

- можливість автоматичної або ручної добової зміни тиску;
- точна підтримка заданого рівня тиску;
- енергозбереження за рахунок оптимізації пускових режимів;
- енергозбереження за рахунок виключення надлишкового тиску;
- диспетчеризація, індикація та архівування параметрів;
- захист водопроводу та обладнання автоматизованої системи;
- багаторухове керування.

Розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи керування водопостачанням, відкачування води із резервуару. Автоматизована система керування водопостачанням може забезпечувати роботу у трьох режимах:

- режим робочий;
- режим «Швидке відкачування»;
- режим «Аварійне відкачування».

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи розроблено програмний код керування автоматизованою системою на мові FBD у програмному забезпеченні LOGO! Soft Comfort компанії Siemens. Розроблений програмний код дозволяє встановлювати відповідні режими роботи автоматизованою системою керування водопостачанням.

Розроблено метод підвищення функціональної безпеки та надійності функціонування автоматизованої системи керування водопостачанням, який полягає у використанні резервування елементів контуру контролю рівня води у резервуарі. Показано, що без використання резервування (дублювання) елементів контуру, ймовірність безвідмовної роботи знаходилась на рівні

0,9389, при резервуванні давачів це значення збільшилось до 0,9438, а при резервуванні давачів та ліній зв'язку це значення вдалось збільшити до 0,9816, що відповідає поставленому завданню.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування : навчальний посібник. К.: Аграрна освіта, 2010. 557 с.
2. Ельперін І. В., Пупена О. М., Сідлецький В. М., Швед С. М. Автоматизація виробничих процесів : підручник. М-во освіти і науки України, Нац. ун-т харчових технологій. Київ : Ліра-К, 2019. 378 с.
3. Бідюк П. І., Тимощук О. Л., Коваленко А. Є., Коршевніук Л. О. Системи і методи підтримки прийняття рішень : підручник. Київ : НТУ КПІ ім. І. Сікорського, 2022, 610 с.
4. Кушлик-Дивульська О.І., Кушлик Б.Р.. Основи теорії прийняття рішень. К., 2014. 94с.
5. Гончаренко Б.М., Осадчий С.І., Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Дідик О.К. Автоматизація виробничих процесів. Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2016. 352 с.
6. Ладієва Л. Р. Оптимізація систем керування [Електронний ресурс] : навчальний посібник. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 232 с.
7. Технічні засоби автоматизації : навч.-метод. посібник / уклад.: А.К. Бабіченко та ін. Х.: НТУ «ХПІ», 2021. 217 с.
8. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації : навч. посібник. К.: Видавництво Ліра-К, 2017. 344 с.
9. Пількевич І.А. Молодецька К.В. Сугоняк І.І. Лобанчикова Н.М. Основи побудови автоматизованих систем управління : навчальний посібник. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. 181 с.
10. Пушкар, М.С., Проценко С.М. Проектування систем автоматизації : навч. посібник. Д. : Національний гірничий університет, 2013. 268 с.

11. Барандич К.С., Подолян О.О., Гладський М.М. Системи автоматизованого проєктування: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 97 с.
12. Васілевський, О. М., Поджаренко В. О. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.
13. Березуцький В.В. , Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник. Харків. : ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.
14. Фесенко Г. В. Потенційно небезпечні виробничі технології та їх ідентифікація : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 95 с.
15. International standard IEC 61508-1. URL: https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61508-1%7Bed2.0%7Db.pdf
16. International Standard IEC 61511:2021 SER <https://webstore.iec.ch/publication/5527>
17. Васілевський О. М. Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 160 с.
18. Вишнівський В.В., Василенко В.В., Гніденко М.П., Звенігородський О.С., Зінченко О.В., Іщеряков С.М. Основи надійності та діагностики інформаційних систем : посібник. Київ : ДУТ, 2020. 184с.
19. Абракітов В. Е. Автоматизація технологічних процесів : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 80 с.
20. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : посібник / укладач : Карташов В.В. Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 149 с.
21. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01].

22. Власенко К. В., Грудкіна Н. С. Надійність технічних систем : методичні рекомендації до самостійної роботи студентів денної і заочної форм навчання за спеціальністю «Інформаційні технології проектування». Краматорськ : ДДМА, 2016. 41 с.
23. ДСТУ 3433-96. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення. Держстандарт України. Київ, 1994.
24. Манко Г.І., Тараненко Ю.К., Тітова О.В., Трішкін В.Я., Швачка О.І., Чумаков Л.Д. Розрахунки систем контролю та керування : навчальний посібник. Дніпро : УДХТУ, 2018. 191 с.
25. Салогуб М.В. Надійність, діагностика та експлуатація комп'ютерних систем та мереж : електронний підручник. 2016. 151с.
26. Мицишин О.Я. Ефективність інформаційних систем : конспект лекцій. Львів, 2017. 98 с.
27. ДСТУ 2862-94. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. Держстандарт України. К. 1994. 38 с.
28. Надійність технічних систем : конспект лекцій / укладач: Савельєва О.С. Одеса: «Одеська політехніка». 2021. 109 с.
29. Кустов В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики : навчальний посібник. Харків : УкрДАЗТ, 2008. 218 с
30. Теорія імовірностей та математична статистика [Електронний ресурс] : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 341 с.
31. Корсун, В.І., Белан В.Т., Глухова Н.В. Метрологія, стандартизація, сертифікація, акредитація [Текст]: навч. посібник. Д.: Національний гірничий університет, 2011. 147 с .
32. Бобало Ю. Я., Волочій Б. Ю., Лозинський О. Ю., Мандзій Б. А., Озірковський Л. Д. та ін. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія.

Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 300 с.

33. Шадура В.О., Кравченко Н.В. Водопостачання та водовідведення : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2018. 343с.

34. Мартинов С.Ю., Орлов В.О. Інформаційні технології проектування систем водопостачання і водовідведення : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2011. 137 с.

35. Касімов О. М., Айрапетян Т. С. Зворотні і безстічні системи водопостачання промислових підприємств : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 150 с.

36. Дегтяр М. В. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Споруди і обладнання водопостачання» Модуль 2 «Водопровідні мережі та споруди». Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 93 с.

37. Логічні модулі LOGO! - досконале рішення.
URL:<https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/avtomatyzatsiya-z-logo.html>

38. Логічні модулі Siemens LOGO! URL: <https://simat.com.ua/article-logichni-moduli-siemens-logo>

39. Siemens. URL: <https://www.electricalautomationnetwork.com/siemens/6ed1055-1ma00-0ba2-6ed10551ma000ba2-siemens-logo-am2-modul-rasshireniya-napryazhenie-pitaniya-12-24-v-2-ai>

40. URL : <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/en/Catalog/Product/6ES7323-1BH01-0AA0>

41. URL : <http://hyundai-electric.es/media/images/Manuales/N700E-5,5-375kW-eng.pdf> INSTRUCTION MANUAL

42. URL : <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/7ML55010AA10>

43. URL : <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/100782807?c=>

57611623819&dl=en&lc=ru-RU

44. Тігарєв А.М. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи “Програмування ПЛК. Вивчення мови функціональних блокових діаграм (FBD)”/ Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2016. 32 с.

45. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи системи на основі моделі типу «міцність-навантаження» [Електронний ресурс] : навч. посіб. / уклад. А. О. Абрамова. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 37 с.

Додаток А

Стаття у фаховому журналі (подана в 4 номер ВОТТП, 2023р.)

САВЕНКО О.С.Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-4104-745X**МОРКУН Н.В.**Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-1261-1170**КОРЕЦЬКА Л.О.**Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-4284-4936**ПАНЮШКІН В.А.**

Хмельницький національний університет

**ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯМ**

У статті проведено дослідження та запропоновано метод підвищення ймовірності відмовостійкості автоматизованої керування водопостачанням. Підвищення функціональної безпеки та надійності контуру контролю рівня води у резервуарі, а отже і автоматизованої системи в цілому, вдалось досягти за рахунок використання резервування елементів контуру.

Ключові слова: функціональна безпека, надійність, ймовірність безвідмовної роботи, резервування, автоматизована система.

SAVENKO Oleg S.

Khmelnytskyi National University

MORKUN Natalia V.

Khmelnytskyi National University

KORETSKA Liudmyla O.

Khmelnytskyi National University

PANIUSHKIN Vladislav A.

Khmelnytskyi National University

**INCREASING THE RELIABILITY AND FUNCTIONAL SAFETY OF THE AUTOMATED WATER
SUPPLY MANAGEMENT SYSTEM**

In the article, a study was conducted and a method of increasing the probability of fault tolerance of automated water supply management was proposed. Increasing the functional safety and reliability of the water level control circuit in the tank, and therefore the automated system as a whole, was achieved due to the use of redundancy of the circuit elements. In the context of modern industry and everyday life, increasing the reliability and functional safety of automated control systems is an extremely urgent task. Automated systems have high requirements for reliability and fault tolerance. Therefore, at the stages of development, design and operation of automated systems, it is necessary to evaluate the parameters of reliability of functioning. To assess the probability of system failures, system reliability, and failure risks, the functional safety norms set forth in the IEC 61508, IEC 61511 standards are used. As a result of the conducted research, it was established that with the use of redundancy of elements of the water level control circuit in the tank, it was possible to achieve the value of the probability of failure-free operation contour above 0.95.

Keywords: functional safety, reliability, probability of failure-free operation, redundancy, automated system.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У контексті сучасної промисловості та побуту підвищення надійності та функціональної безпеки автоматизованих систем керування є надзвичайно актуальним завданням. Це пов'язано із наступними факторами: безпека персоналу, попередження аварій та аварійних ситуацій, ефективність виробництва, дотримання існуючих нормативів та стандартів, захист автоматизованої системи від кіберзагрози. Зокрема, підвищення надійності та функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням є важливим з наступних причин: забезпечення населення (виробництва) доступу до чистої води, забезпечення санітарних умов, економія ресурсів, швидке реагування на зміну рівня споживання води, що забезпечує стійкість системи водопостачання в різних умовах, профілактичне обслуговування із використанням систем моніторингу, контролю та діагностики.

До автоматизованих систем висуваються високі вимоги щодо надійності та відмовостійкості [1-3]. Тому на етапах розробки, проектування та експлуатації автоматизованих систем необхідно проводити оцінку параметрів надійності функціонування. Для оцінки ймовірності відмов системи, надійності системи, ризиків збою використовують норми функціональної безпеки, що викладені у стандартах ІЕС 61508 [4], ІЕС 61511 [5].

Викладення основного матеріалу. Під час проектування системи автоматизації водопостачанням потрібно виконати наступні завдання:

- підтримання у водопроводі заданого тиску,
- подача води у водопровід споживача повинна бути безперервною,
- захист від аварійних ситуацій, які можуть виникати у свердловині, наприклад, переповнення водою резервуара, нестача води та інші,
- можливість встановлення системи в режим ручного керування технологічним процесом з автоматичного,
- можливість керувати та контролювати з єдиного диспетчерського пункту технологічний процес.

Головною складовою об'єкта автоматизації є свердловина. У роботі розглядається система водопостачання із двома групами свердловин, в кожній з яких є по дві свердловини, які розміщені одна від одної на відстані 0,5 км. Кожна із свердловин обладнана занурювальними насосами, за допомогою яких відбувається забір води із свердловини.

Наступними складовими об'єкта автоматизації є резервуар та насосна станція. Резервуар використовується для накопичення певного заданого рівня води і з'єднаний з усіма свердловинами із використанням трубопроводів та насосної станції першого підйому, а також із насосною станцією другого підйому.

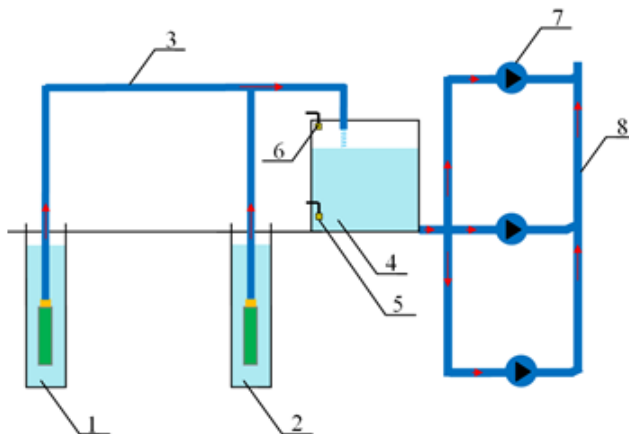


Рис. 1 – Схематичне зображення автоматизованої системи керування водопостачанням

Насосна станція другого підйому є заключною ланкою автоматизованої системи керування водопостачанням. Приміщення станції другого підйому обладнане необхідними насосами, які з'єднані із резервуаром за допомогою трубопроводу. Із використанням насосів відбувається здійснення безпосереднього забору із резервуару води та направлення її у трубопровід споживача. Без використання сучасних засобів автоматизації та підходів поставлені завдання вирішити неможливо. На рис. 1 наведено схематичне зображення об'єкта автоматизації – автоматизованої системи керування водопостачанням, де 1 – перша група

свердловин; 2 – друга група свердловин; 3 – трубопровід від свердловин; 4 – резервуар; 5 – датчик нижнього рівня води у резервуарі; 6 – датчик верхнього рівня води у резервуарі; 7 – насоси для постачання води із резервуару споживачам; 8 – трубопровід.

На насосних станціях відбувається автоматизація:

- приймання сигналів від вимірювальних пристроїв та передача сигналів на диспетчерський пункт;
- підтримання та контроль заданих параметрів (наприклад, подачі води, рівня, напору тощо);
- процесів пуску та зупинки насосних агрегатів та допоміжних насосних установок.

Для спостереження та можливої контролю за станом системи використовуються датчики, які перетворюють контрольоване значення параметру у електричний сигнал, який далі із використанням контролера та відповідної побудованої логіки перетворюється у сигнал керування виконавчим механізмом.

Розглянемо алгоритм відкачування води із резервуару (рис. 2), для забезпечення подачі її кінцевим споживачам.

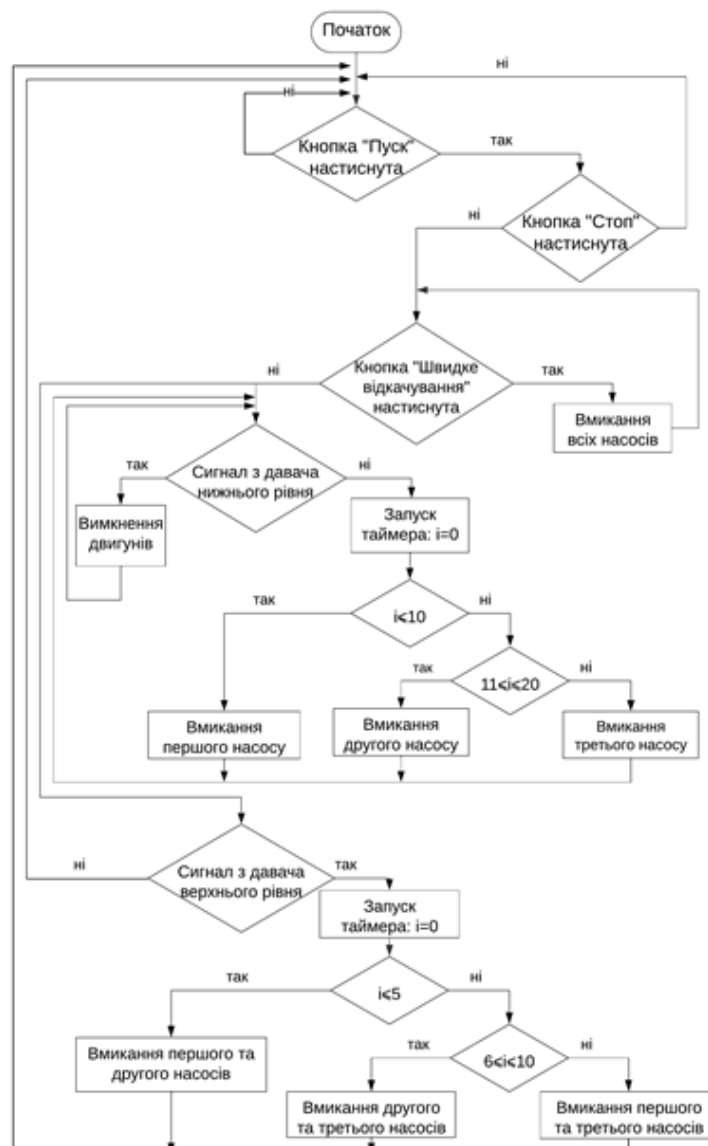


Рис. 2 – Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування водопостачальною станцією

Автоматизована система керування водопостачанням у своєму складі містить:

- резервуар;
- датчі нижнього та верхнього рівня, що розміщені на резервуарі;
- 3 насоси (двигуни), що забезпечують відкачування води;
- кнопка «Старт»;
- кнопка «Стоп»;
- кнопка «Аварійне відкачування»;
- 3 сигнальні лампи: перша лампа сигналізує про режим роботи системи (режим «Робочий» - лампа вимкнена, режим «Швидке відкачування» - лампа ввімкнена, режим «Аварійне відкачування» - лампа миготить з періодом 1 с); друга – про несправність одного із датчів верхнього рівня; третя - про несправність одного із датчів нижнього рівня. Із використанням кнопкових вимикачів та даних, що отримані з датчів верхнього та нижнього рівнів, відбувається керування режимами роботи автоматизованої системи керування водопостачальною станцією.

Сигнали, що отримані від датчів верхнього та нижнього рівнів, сигналізують про заповнення резервуару або про те, що він порожній, відповідно.

При короткочасному натисканні на кнопку «Старт» відбувається початок роботи автоматизованої системи, а при натисканні на кнопку «Стоп» - відбувається зупинка її роботи. При натисканні на кнопку «Аварійна зупинка» (кнопка з фіксацією) відбувається знеструмлення кола керування автоматизованою системою.

Автоматизована система керування водопостачанням може забезпечувати роботу у трьох режимах:

- режим «Робочий»;
- режим «Швидке відкачування»;
- режим «Аварійне відкачування».

У робочому звичайному режимі роботи автоматизованої системи керування водопостачанням з датчів верхнього та нижнього рівнів сигнал не надходить. Двигуни насосів працюють по черзі з частотою 0,1 Гц (тобто, з інтервалом 10 с.). Робота двигунів призупиняється при отриманні сигналу з датча нижнього рівня. При отриманні сигналу з датча верхнього рівня відбувається перехід системи у режим «Швидке відкачування». При зникненні того або іншого сигналів, система знову повертається у звичайний робочий режим роботи.

У режимі «Швидке відкачування» двигуни насосів працюють з інтервалом 0,2 Гц (інтервалом 5 с.). Вмикання двигунів відбувається парами: спочатку перший та другий двигуни насосів, потім перший та третій, далі другий та третій і т.д. циклічно. При зникненні сигналу з датча верхнього рівня автоматизована система управління водопостачанням переходить у звичайний робочий режим роботи.

Для активування режиму «Аварійне відкачування» слід натиснути кнопку «Аварійне відкачування». Всі три двигуни насосів незалежно від даних, що отримані від датчів верхнього та нижнього рівнів, переходять у ввімкнений стан. При відпусканні кнопки «Аварійне відкачування» режим деактивується. Робота автоматизованої системи переходить у стан робочий або «Швидке відкачування» залежно від показів датчів верхнього та нижнього рівнів.

До складу автоматизованої системи керування водопостачанням входять велика кількість датчів. Вихід з ладу одного з них може спровокувати роботу системи у невірному режимі та призвести до катастрофічних наслідків. Тому контроль та діагностика справності цих елементів є досить важливим. Для підвищення функціональної безпеки системи в цілому запропоновано застосувати вид резервування датчів, який має назву дублювання. На рис. 3 наведено програмний код керування системою автоматизованого керування із підвищеною функціональною безпекою, що написаний із використанням мови FBD у програмному забезпеченні LOGO! Soft Comfort від компанії Siemens.

У програмному коді використано наступні вхідні дані:

- I1 – кнопка «Старт», при натисканні робота автоматизованої системи встановлюється у

робочий звичайний режим;

- I2 – кнопка «Стоп», відбувається зупинка роботи автоматизованої системи;
- I3 – кнопка «Аварійне відкачування», відбувається перехід автоматизованої системи у режим аварійного відкачування, при якому працюють всі три насоси;
- I4 – сигнал з датчика верхнього рівня, перехід у режим «Швидке відкачування»;
- I5 – сигнал з датчика нижнього рівня, відбувається припинення роботи всіх насосів.
- I6 – сигнал з резервного датчика верхнього рівня;
- I7 – сигнал з резервного датчика нижнього рівня;

У програмному коді використано наступні вихідні дані:

- Q1 – сигнал, що задає роботу двигуна першого насосу;
- Q2 – сигнал, що задає роботу двигуна другого насосу;
- Q3 – сигнал, що задає роботу двигуна третього насосу;
- Q4 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 1, миготіння якої може відбуватись у трьох

режимах: лампа не світить – система знаходиться у звичайному штатному режимі роботи, лампа світить постійно – встановлений режим «Швидке відкачування», лампа світить періодично – встановлений режим «Аварійне відкачування».

- Q5 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 2, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків верхнього рівня,

- Q6 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 3, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків нижнього рівня.

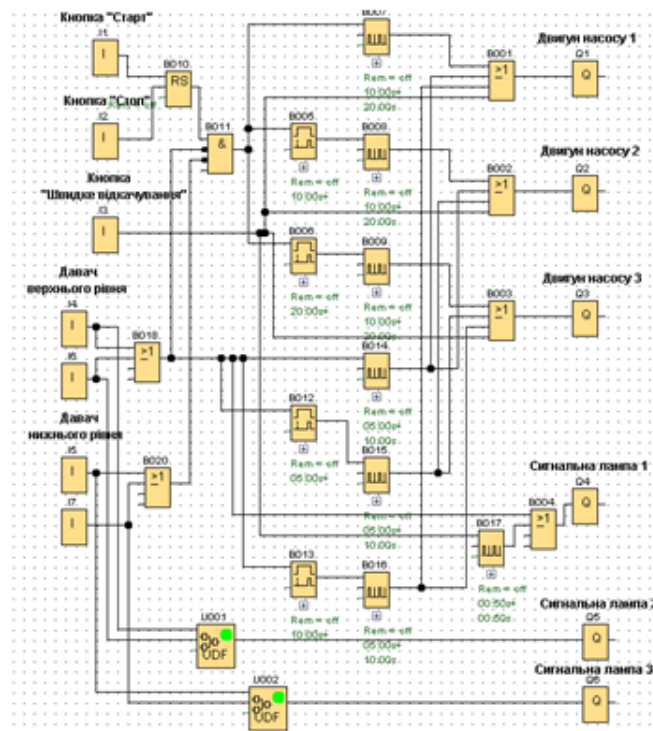


Рис. 3 – Програмний код керування автоматизованою системою із підвищеною функціональною безпекою

Для фіксування натиснення/ненатиснення кнопок «Старт» або «Стоп» у запропонованому програмному коді використовується тригер, для ввімкнення/вимкнення автоматизованої станції.

Для можливості почергового вмикання/вимикання двигунів насосів використано блоки On-Delay (затримка ввімкнення) B005, B006 та Asynchronous Pulse Generator (генератор серії імпульсів) B007, B008 та B009. Затримка в блоці B005 встановлюється 10 с., в блоці B006 – 20 с., що дозволяє забезпечити затримку вмикання двигунів насосів та циклічність їх роботи у штатному режимі. Ці блоки впливають на час вмикання генераторів серії імпульсів B008 та B009 у звичайному штатному режимі роботи. Також для цих генераторів імпульсів встановлюються наступні параметри:

- interpulse width (тривалість інтервалу) – 20 сек.;
- pulse width (тривалість імпульсу) – 10 сек.

Від входу I3 до блоків 4-АБО натисканням кнопки «Аварійне відкачування» відбувається запуск роботи всіх двигунів трьох насосів незалежно від показів давачів верхнього та нижнього рівнів. Відпускання кнопки, тобто на виході I3 встановлюється значення логічного «0», призводить до переходу у звичайний робочий режим роботи, або режим «Швидке відкачування».

Для переходу у режим «Швидке відкачування» встановлюються зв'язок із I4, тобто від давача верхнього рівня, зв'язок із I5 встановлюється для забезпечення вимкнення двигунів насосів при нижньому рівні води у резервуарі.

Використання блоків On-Delay (затримка ввімкнення) B012, B013 та Asynchronous Pulse Generator (генератор серії імпульсів) B014, B015 та B016 задається реалізація режиму «Швидке відкачування», тобто циклічна робота пар двигунів насосів з інтервалом 5 сек. При зникненні сигналу з давача верхнього рівня робота автоматизованої системи керування водопостачанням переходить у звичайний робочий режим.

Для блоку On-Delay B012 встановлюються затримка ввімкнення 5 сек., для B013 – 10 сек. Таким чином ввімкнення генераторів Asynchronous Pulse Generator B015 та B016 відбувається з затримкою і забезпечується циклічна робота двигунів насосів у режимі «Швидке відкачування», при цьому сигнальна лампа 1 блимає з частотою 1 Гц.

Часові параметри для B014, B015, B016 встановлюються наступним чином:

- interpulse width (тривалість інтервалу) – 10 сек.;
- pulse width (тривалість імпульсу) – 5 сек.

Для встановлення роботи сигнальної лампочки 1 у режимі миготіння додається до схеми Asynchronous Pulse Generator B017, у властивостях якого задаємо часові параметри:

- interpulse width (тривалість інтервалу) – 0,5 сек.;
- pulse width (тривалість імпульсу) – 0,5 сек.

Додатково обробляються сигнали I6 та I7, які надходять з резервованих (дубльованих) давачів верхнього та нижнього рівнів відповідно. Логіка роботи такої системи із врахуванням сигналів від дубльованих давачів верхнього рівня наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Таблиця істинності для прийняття рішення про спрацювання давача верхнього рівня

I4	I6	f
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

водопостачанням не зупиняється.

Згідно з даними таблиці 1 можна зробити наступний висновок про роботу системи. Якщо на входах I4 та I6 однакові значення, то на виході логічного елемента OR (B018) встановиться значення логічного «0» при значеннях I4, I6, що дорівнюють «0», або логічної «1» при значеннях I4, I6, що дорівнюють «1». Якщо значення на виходах давачів відрізняються, тобто на виході одного з них встановлюється значення логічної «1», а на іншому – логічного «0», то вважається, що один із давачів є несправним, але робота автоматизованої системи керування

Для можливості контролю та діагностики стану давачів у програмний код потрібно додати відповідний функціональний блок. Частина програмного коду виконана із застосуванням UDF у LOGO! Soft Comfort, його зображення наведено на рис. 4.

Логіка роботи наведеного функціонального блоку наведена у таблиці 2.

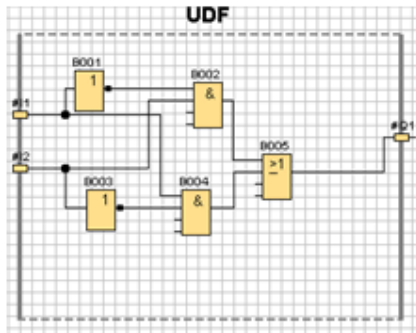


Рис. 4 – Програмний код функціонального блоку діагностики справності резервованих давачів

Таблиця 2

Таблиця істинності роботи блоку діагностики справності давача верхнього рівня

I4	I6	f
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Згідно з даними, що наведені у таблиці 2, можна зробити висновок, що сигнал логічної «1» на виході цього блоку з'явиться лише у випадку різних значень на виходах дубльованих давачів верхнього рівня, тобто при несправності обох давачів верхнього рівня, і в цьому випадку оператору надходить повідомлення – сигнальна лампа 2 засвітиться. Оператор, отримавши це повідомлення, приймає рішення про заміну одного з давачів.

Аналогічним чином відбувається дублювання давача нижнього рівня. До сигналу I5 додатково вводиться сигнал з дубльованого давача I7, а повідомлення про несправність давача нижнього рівня надходить оператору у вигляді світіння сигнальної лампочки 3.

Із використанням методу декомпозиції на прикладі контуру контролю верхнього рівня води у резервуарі проведена оцінка надійності відмовостійкості контуру контролю води у резервуарі. Контур контролю рівня води складається із давача верхнього рівня та лінії зв'язку, із допомогою якої відбувається надсилання даних. На рис. 5 наведено структурно-функціональну схему контуру.

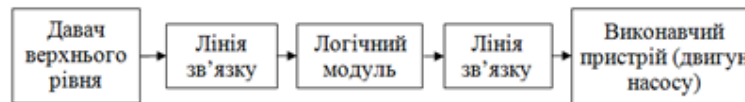


Рис. 5 – Структурно-функціональна схема контуру контролю верхнього рівня води

Із використанням закону експоненційного розподілу часу здійснено оцінку ймовірності безвідмовної роботи елементів контуру за формулою (1) [6]:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}. \quad (1)$$

де λ_i – інтенсивність відмов, год⁻¹, t – час напрацювання, год.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи послідовно-організованої контуру здійснюється за формулою (2):

$$P_k(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = P_d \cdot P_{ЛЗ} \cdot P_{ЛМ} \cdot P_{ЛЗ} \cdot P_{ВП}, \quad (2)$$

де $P_k(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи контуру; P_d – ймовірність безвідмовної роботи датчика; $P_{ЛЗ}$ – ймовірність безвідмовної роботи лінії зв'язку; $P_{ЛМ}$ – ймовірність безвідмовної роботи логічного модуля; $P_{ВП}$ – ймовірність безвідмовної роботи виконавчого пристрою.

Згідно (4.1) визначимо ймовірність безвідмовної роботи елементів контуру за час напрацювання 2000 год. Ймовірність безвідмовної роботи датчика:

$$P_d = e^{-2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,9896.$$

Ймовірність безвідмовної роботи лінії зв'язку:

$$P_{ЛЗ} = e^{-10^{-5} \cdot 2000} = 0,9608.$$

Ймовірність безвідмовної роботи логічного модуля:

$$P_{ЛМ} = e^{-0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,9988.$$

Ймовірність безвідмовної роботи виконавчого пристрою:

$$P_{ВП} = e^{-8,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2000} = 0,9662.$$

Згідно (2) ймовірність безвідмовної роботи контуру становитиме:

$$P_k(2000) = 0,9948 \cdot 0,9802 \cdot 0,9994 \cdot 0,9802 \cdot 0,983 = 0,9389.$$

Отримане значення є досить низьким, що свідчить про недостатню надійність контуру контролю рівня води у резервуарі. Це значення можливо збільшити при резервуванні елементів контуру.

При резервуванні елементів ймовірність безвідмовної роботи контуру визначається за виразом (3) [3]:

$$P_{i\text{рез}}(t) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_i(t)), \quad (3)$$

де k – кількість повторів елементів при резервуванні.

Проведемо оцінку надійності при резервуванні датчиків рівня. На рис. 6 наведено структурно-функціональну схему контуру контролю верхнього рівня води із резервуванням датчиків.

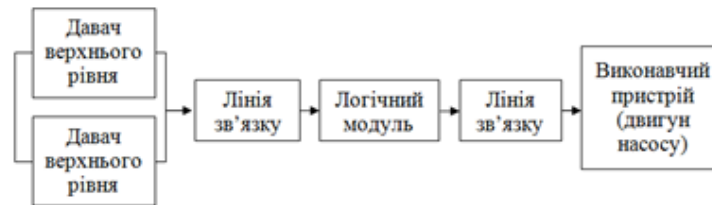


Рис. 6 – Структурно-функціональна схема контуру контролю верхнього рівня води із резервуванням датчиків

Згідно (3) ймовірність безвідмовної роботи резервованих датчиків становитиме:

$$P_{\text{д,рез}}(2000) = 1 - (1 - 0,9896) \cdot (1 - 0,9896) = 0,9999.$$

А ймовірність безвідмовної роботи контуру $P_{\text{к1}}(t)$ при резервуванні датчиків за (2) набуде значення:

$$P_{\text{к1}}(2000) = 0,9999 \cdot 0,9802 \cdot 0,9994 \cdot 0,9802 \cdot 0,983 = 0,9438.$$

При порівнянні отриманих значень $P_{\text{к}}(t)$ та $P_{\text{к1}}(t)$ встановлено, що резервування дало можливість підвищити ймовірність безвідмовної роботи контуру, але це значення все одно є замалим.

З метою підвищення ймовірності безвідмовної роботи контуру здійснюється резервування ліній зв'язку. На рис. 7 наведено структурно-функціональну схему контуру контролю верхнього рівня води із резервуванням датчиків та ліній зв'язку.

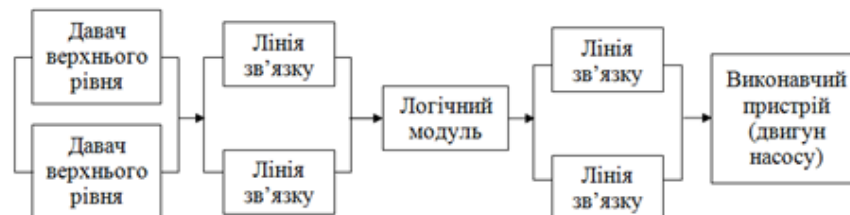


Рис. 7 – Структурно-функціональна схема контуру контролю верхнього рівня води із резервуванням датчиків та ліній зв'язку

Згідно (3) ймовірність безвідмовної роботи резервованих ліній зв'язку становитиме:

$$P_{\text{ЛЗ,рез}}(2000) = 1 - (1 - 0,9802) \cdot (1 - 0,9802) = 0,9996.$$

А ймовірність безвідмовної роботи контуру $P_{\text{к2}}(t)$ при резервуванні датчиків та ліній зв'язку за (2) набуде значення:

$$P_{\text{к2}}(2000) = 0,9999 \cdot 0,9996 \cdot 0,9994 \cdot 0,9996 \cdot 0,983 = 0,9816.$$

Аналогічним чином потрібно провести резервування ще одного контуру контролю води – нижнього рівня.

Висновки. У результаті проведених розрахунків показано, що резервування давачів та ліній зв'язку дає можливість значно підвищити ймовірність безвідмовної роботи контуру контролю рівня води на 0,0427 до значення 0,9816, а отже автоматизованої системи керування водопостачанням в цілому.

Література

1. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник. Харків : ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.
2. Фесенко Г. В. Потенційно небезпечні виробничі технології та їх ідентифікація : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 95 с.
3. Карташов В.В. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : посібник з лекцій. Тернопіль : Вид-во ТНТУ ім. І. Пулюя, 2017. 149 с.
4. IEC 61508. Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems. Geneva: The International Electrotechnical Commission, 2010.
5. IEC 61511. Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Geneva: The International Electrotechnical Commission, 2003.
6. Василевський О. М., Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 160 с.

References

1. Berezutskyi V.V., Adamenko M.I. Nebezpechni vyrobnychi ryzyky ta nadiinist: navchalnyi posibnyk. Kharkiv : FOP Panov A. M., 2016. 385 s.
2. Fesenko H. V. Potentsiino nebezpechni vyrobnychi tekhnolohii ta yikh identyfikatsiia : konspekt lektsii. Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2018. 95 s.
3. Kartashov V.V. Avtomatyzovani systemy keruvannia tekhnolohichnymy protsesamy : posibnyk z lektsii. Ternopil : Vyd-vo TNTU im. I. Puliuia, 2017. 149 s.
4. IEC 61508. Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems. Geneva: The International Electrotechnical Commission, 2010.
5. IEC 61511. Functional Safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Geneva: The International Electrotechnical Commission, 2003.
- Vasilevskyi O. M., Ihnatenko O. H. Normuvannia pokaznykiv nadiinosti tekhnichnykh zasobiv : navchalnyi posibnyk. Vinnytsia : VNTU, 2013. 160 s.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Панюшкін Владислав Андрійович

Тема: Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 13 Кількість сторінок записки 84

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка системи автоматизованого керування вентиляцією на хімічному виробництві

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз можливих відмов, їх причин та наслідків, показано, що слід враховувати чинники, які впливають на надійність функціонування автоматизованої системи на всіх етапах життєвого циклу: проектування, розробка, експлуатація. У другому розділі кваліфікаційної роботи більш детально розглянуто показники надійності та залежність їх від ймовірності безвідмовної роботи елементів системи. У третьому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано об'єкт автоматизації та визначено вимоги до функціонування насосних станцій. Розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи керування водопостачанням, відкачування води із резервуару. У четвертому розділі кваліфікаційної роботи розроблено програмний код керування автоматизованою системою на мові FBD у програмному забезпеченні LOGO! Soft Comfort компанії Siemens. Показано, що при резервуванні давачів та ліній зв'язку значення ймовірності безвідмовної роботи системи вдалось збільшити до 0,9816, що відповідає поставленому завданню.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється аналізу існуючих технічних рішень

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно (4,75/A)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Клюс Дмитро Павлович, к.т.н., доцент, завідуючий
кафедрою кібербезпеки

"20" 12 2023 р.

(підпис)

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням

Автор: Панюшкін Владислав Андрійович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Моркун Наталя Володимирівна, доктор технічних наук, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 1,92% і адресується до 201 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

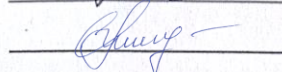
Дата 21.12.2023р.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи





Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Наталя МОРКУН

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Панюшкін В.А.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТМ-22-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10.12.2023

дата



підпис

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 7%

ID: 124192 Назва: МКР Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування водопостачанням Додано в БД: 2023-12-21 Автора: Владислав ПАНЮШКІН Керівники: Наталя МОРКУН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	84079	1283	2391 (3%)	37 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1016027189

Дата перевірки:
21.12.2023 07:22:07 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
21.12.2023 07:23:25 EET

ID користувача:
100005862

Назва документа: Панюшкін антиплагіат (1)

Кількість сторінок: 85 Кількість слів: 13205 Кількість символів: 109936 Розмір файлу: 1.60 MB ID файлу: 1015716266

100 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

1.92% Схожість

Найбільша схожість: 0.31% з Інтернет-джерелом (https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/41161/1/2023_KRM_SNm-61_...)

1.75% Джерела з Інтернету 175 Сторінка 87

0.69% Джерела з Бібліотеки 26 Сторінка 89

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Посилання 1 Сторінка 89

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 34