

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 руху автомобільного транспорту у тунелі

Назва теми

КвРАКІТР.2023|94.01.32.ПЗ

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Шифр, назва

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

Назва

Виконав:

студент II курсу, група АКІТРм-23-1



Підпис

Аліна ЯКИМЕНКО

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

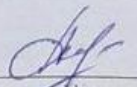


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

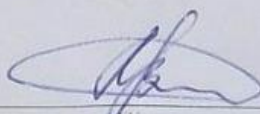


Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР



Підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 18 » грудня 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

Спеціальність 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКИТтаР

Валерій МАРТИНЮК

01 вересня 2024р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Якименко Аліні Олександрівні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи: Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування руху автомобільного транспорту у тунелі

Керівник роботи Корецька Л. О. к.т.н, доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.

3 Вихідні дані до роботи Аналіз сучасних методів підвищення функціональної безпеки автоматизованих систем керування. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованої системи керування руху автомобільного транспорту в тунелі


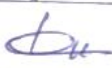


4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Огляд існуючих методів підвищення функціональної безпеки систем автоматизації та опис об'єкта автоматизації. Побудова моделі надійності АСКРТТ. Алгоритмічне та програмне забезпечення АСКРТТ. Аналіз надійності АСКРТТ. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

Презентаційні матеріали

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКИТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКИТтаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1.	Вступ	10.09.2024р.	Виконано
2.	Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2024р.	Виконано
3.	Огляд існуючих методів підвищення функціональної безпеки	15.10.2024р.	Виконано
4.	Алгоритмічне проектування автоматизованої системи керування руху транспорту у тунелі	30.10.2024р.	Виконано
5.	Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи керування руху транспорту у тунелі із підвищеною функціональною безпекою	10.11.2024р.	Виконано
6.	Висновки	15.11.2024р.	Виконано
7.	Оформлення пояснювальної записки до ДР	20.11.2024р.	Виконано
8.	Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2024р.	Виконано

Студент



Підпис

Аліна ЯКИМЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи



Підпис

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування руху автомобільного транспорту у тунелі».

Автор роботи: Якименко Аліна Олександрівна.

Керівник роботи: Корецька Людмила Олександрівна.

Пояснювальна записка: 84 с., 42 рис., 4 табл., 1 дод., 70 джерел.

Графічна частина: 13 презентаційних слайдів

ФУНКЦІОНАЛЬНА БЕЗПЕКА, НАДІЙНІСТЬ, ЙМОВІРНІСТЬ
БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ, РЕЗЕРВУВАННЯ, АВТОМАТИЗОВАНА
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РУХУ ТРАНСПОРТУ В ТУНЕЛІ.

Мета роботи: розробити автоматизовану систему керування руху автомобільного транспорту у тунелі із підвищеною функціональною безпекою. Розроблено метод підвищення функціональної безпеки та надійності функціонування автоматизованої системи керування руху автомобільного транспорту у тунелі, який полягає у підвищенні функціональної безпеки автоматизованої системи керування рухом автомобільного транспорту в тунелі та забезпечити рівень безвідмовної роботи контурів контролю за габаритно-ваговими параметрами транспорту та вентиляційної системи в тунелі на рівні вище 0,95.



Підпис студента

02.12.2024р.

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	1
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	4
1.1 Огляд методів оцінки ризиків та методів підвищення функціональної безпеки.....	4
1.2 Опис об'єкта автоматизації.....	14
1.3 Обґрунтування необхідності підвищення функціональної безпеки АСКРТТ.....	17
1.4 Висновки до першого розділу.....	20
2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ АСКРТТ.....	21
2.1 Вибір технічних компонентв вимірювально-обчислювальних системи.....	21
2.2 Побудова моделі АСКРТТ як карти надійності.....	26
2.3 Розрахунок показників надійності СОУ ГВС на базі карти надійності ..	31
2.4 Висновки до другого розділу	36
3 АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСКРТТ.....	38
3.1 Розробка блок схеми алгоритму та програми керування.....	38
3.2 Обґрунтування технічних засобів системи керування руху автомобілів в тунелі	49
3.3 Висновки до третього розділу.....	59
4 АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ АСКРТТ.....	61
4.1 Побудова блок-схеми надійності.....	62
4.2 Розрахунок надійності АСКРТТ	64
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	70
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	75
ДОДАТОК А Стаття у фаховому журналі	86

ВСТУП

Актуальність теми. Розробка системи автоматизованого керування рухом автомобільного транспорту в тунелі є важливим завданням, актуальність якого зумовлена низкою причин:

- ефективність ресурсів: автоматизація дозволяє підвищити безпеку руху, оптимізує пропускну спроможність тунелю;
- економіка енергії: за рахунок оптимізації роботи освітлення, вентиляції та інших інфраструктурних елементів, які адаптуються до інтенсивності руху, зменшуючи зайві витрати енергоресурсів;
- моніторинг і аналітика: системи автоматизації надають інструменти для моніторингу та аналітики, що дозволяють операторам оперативно виявляти проблеми, оцінювати ефективність роботи системи та ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення;
- екологічні аспекти: зменшення заторів і плавний рух транспорту сприяють зниженню викидів шкідливих речовин у повітря, що особливо важливо в закритому просторі тунелю;
- управління кризовими ситуаціями: автоматизовані системи управління забезпечують оперативну реакцію на нестандартні ситуації, такі як аварії чи зміни в інтенсивності руху, що є критично важливим для гарантування безпеки та комфорту учасників дорожнього руху;
- технологічний прогрес: процес розробки системи автоматизованого управління рухом автомобільного транспорту в тунелі включає етапи проектування, впровадження інтелектуальних датчиків і програмного забезпечення, тестування та інтеграцію з існуючою інфраструктурою для забезпечення ефективного моніторингу та керування рухом.

Отже, розробка та впровадження сучасних систем автоматизованого керування рухом автомобільного транспорту в тунелі залишаються важливими для підвищення ефективності, стійкості та надійності тунельної інфраструктури.

Надійність роботи автоматизованої системи є одним із факторів, що впливають на ефективність керування. Традиційно надійність автоматизованої системи оцінюється на основі аналізу її відмов. Крім того, на практиці надійність визначається через функціональну безпеку, яка безпосередньо залежить від відмовостійкості та загальної надійності системи і регулюється сучасними стандартами, такими як ISO 39001.

Мета роботи: розробити автоматизовану систему керування рухом автомобільного транспорту в тунелі із підвищеною функціональною безпекою.

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

- розробити алгоритм функціонування автоматизованої системи керування рухом автомобільного транспорту в тунелі;
- розробити програмне забезпечення для керування автоматизованою системою керування рухом автомобільного транспорту в тунелі;
- розробити метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування рухом автомобільного транспорту в тунелі та забезпечити рівень безвідмовної роботи контурів контролю за габаритно-ваговими параметрами транспорту та вентиляційної системи в тунелі на рівні вище 0,95.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого керування рухом автомобільного транспорту в тунелі.

Предметом дослідження є розробка методу підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування рухом автомобільного транспорту в тунелі.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань у роботі застосовувалися методи оцінки ризиків, декомпозиції, алгоритмізації та програмування.

Наукова новизна отриманих результатів.

Розроблено метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування рухом автомобільного транспорту в тунелі.

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Огляд методів оцінки ризиків та методів підвищення функціональної безпеки

Оцінка ризику може бути проведена з різним ступенем деталізації та глибини, залежно від конкретних потреб і наявних ресурсів. Методи оцінки ризику можуть варіюватися за складністю та підходами. Основною метою оцінки ризику є виявлення й аналіз потенційних загроз, що можуть вплинути на безпеку, ефективність і надійність системи або процесу. Вибір методу залежить від кількох факторів, таких як складність системи, наявність даних і ресурсів, а також ступінь невизначеності. Нижче на рисунку 1.1 розглянуто декілька методів аналізу ризиків.

HAZOP (Hazard and Operability Study) — це структурований і систематичний підхід для виявлення небезпек і операційних ризиків, які можуть вплинути на процеси, процедури або системи. HAZOP допомагає визначити потенційні відхилення від нормальних робочих умов і оцінити, які наслідки ці відхилення можуть мати для людей, обладнання, навколишнього середовища або загальних цілей організації.[3-7]

Основний принцип HAZOP полягає у використанні "керуючих слів", які допомагають аналізувати процес або систему на предмет відхилень від запланованих цілей або умов функціонування. Наприклад, аналіз може зосереджуватися на тому, що відбудеться, якщо параметри процесу, такі як температура, тиск або швидкість, перевищать або не досягнуть запланованих значень.

Процес HAZOP зазвичай проводиться міждисциплінарною командою фахівців, яка розглядає систему або процес поетапно, щоб виявити потенційні небезпеки та проблеми. Цей метод може застосовуватися на різних етапах

проектування, починаючи від ранніх концептуальних розробок до фінальної деталізації, коли ще можливо вносити зміни в проєкт для зниження ризиків.

Одним з варіантів HAZOP є CHAZOP (Control Hazard and Operability Study), який застосовується для аналізу програмного забезпечення та комп'ютерних систем, особливо в контексті критично важливих систем безпеки. CHAZOP дозволяє виявити потенційні проблеми в системах управління, які можуть призвести до небажаних результатів або небезпечних ситуацій.

FMEA (Failure Mode Effect Analysis) — це метод, що допомагає ідентифікувати потенційні відмови компонентів системи або процесу та оцінити їх можливі наслідки. Основна мета FMEA полягає в тому, щоб виявити всі можливі способи, за якими компоненти можуть відмовити, і зрозуміти, як ці відмови вплинуть на загальну працездатність системи.[9,10]

FMEA розглядає кожен елемент системи або процесу і аналізує його на предмет можливих відмов, механізмів виникнення цих відмов і їх наслідків. Наприклад, аналіз може показати, що певний компонент системи має високий ризик відмови через конструктивні недоліки, або що його робота може бути порушена внаслідок впливу певних зовнішніх факторів, таких як екстремальні температури або вологість.

FMEA є детальним методом і потребує наявності точних даних про систему або процес. Це можуть бути креслення, блок-схеми, інформація про функціональні характеристики компонентів, історичні дані про відмови та інші дані, необхідні для оцінки ризиків. На основі цієї інформації можна створити джерела відмов та їхніх наслідків для кожного елементу системи, що допоможе визначити найвразливіші місця та знайти способи мінімізації ризиків.

FMEA також допомагає визначити ймовірність відмови та їх критичність для загальної роботи системи. Це дозволяє розробити стратегії для запобігання відмовам або мінімізації їх наслідків. FMEA може бути застосованим на різних етапах життєвого циклу системи — від початкового проєктування до експлуатації та обслуговування.

Аналіз дерева несправностей FTA – Fault Tree Analysis – метод ідентифікації та аналізу факторів, які можуть сприяти виникненню небажаної події, що досліджується (так званою кінцевою подією). За допомогою дедукції фактори, що досліджуються, ідентифікують, вибудовують їх логічно і подають на діаграмі у вигляді дерева, яке відображає ці фактори і їх логічний зв'язок із кінцевою подією. Факторами, зазначеними в дереві несправностей, можуть бути події, пов'язані з відмовами компонентів комп'ютерного обладнання, помилками людини або іншими подіями, які можуть призвести до небажаного результату (події)[48,49]

Цей метод може бути використаний на стадії проектування системи для ідентифікації причин відмови і, отже, вибору варіанта проекту. Метод FTA може бути використаний на стадії виробництва для ідентифікації видів основних відмов і відносної значущості шляхів, що призводять до кінцевої події. Дерево несправностей може бути також використано для аналізу поєднання подій, яке призвело до виникнення відмови, що досліджується.

Для якісного аналізу необхідне добре знання системи і розуміння причин відмови, а також розуміння того, як система може вийти з ладу. Для аналізу корисним є використання детальних схем дерева несправностей. Для проведення кількісного аналізу необхідні дані про інтенсивність або імовірність відмови всіх основних подій, зазначених у дереві несправностей.

Вихідними даними аналізу дерева несправностей є:

- наочне подання шляхів виникнення кінцевої події і взаємодіючих шляхів у ситуації, коли одночасно можуть відбутися дві або більше подій;
- набір мінімальних перерізів (виникнення шляхів відмови системи) й оцінка ймовірності відмови системи для кожного перерізу;
- оцінка ймовірності кінцевої події.

Аналіз дерева несправностей (Fault Tree Analysis, FTA) – це метод, що дозволяє ідентифікувати та аналізувати фактори, які можуть сприяти виникненню небажаної події, відомої як кінцева подія. Метод використовує

дедуктивний підхід, в якому фактори вибудовуються в логічну структуру у вигляді дерева несправностей. Це дерево відображає взаємозв'язки між подіями та причинами їх виникнення, такими як відмови обладнання, помилки людини або інші чинники, що призводять до небажаного результату.

FTA може бути застосований на етапах проєктування для виявлення можливих причин відмови системи та вибору оптимального варіанту проєкту, а також на стадії виробництва для ідентифікації основних відмов і визначення шляхів, що ведуть до кінцевої події. Крім того, метод корисний для аналізу вже відбух відмов, допомагаючи зрозуміти, як поєднання подій призвело до негативного результату.[45-47]

Для якісного аналізу важливо мати глибоке розуміння системи та її потенційних відмов, що дозволяє визначити, які комбінації подій можуть створити критичні ситуації. Кількісний аналіз базується на оцінці ймовірності або інтенсивності відмов основних подій, що дає змогу розрахувати ймовірність настання кінцевої події.

Вихідні дані аналізу дерева несправностей включають наочне подання шляхів, які ведуть до кінцевої події, визначення мінімальних перерізів (комбінацій подій, що спричиняють відмову системи) та оцінку ймовірності настання кінцевої події. Метод FTA є ефективним інструментом для оцінки ризиків, оскільки дозволяє вчасно виявляти потенційні загрози та мінімізувати їх на різних етапах проєктування і експлуатації системи.



Рисунок 1.1 – Методи оцінки ризиків

У таблиці 1.1 наведено переваги та недоліки кожного з цих методів.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки методів аналізу ризиків

	Переваги методу аналізу	Недоліки методу аналізу
HAZOP	<ul style="list-style-type: none"> – Метод забезпечує систематичний та всебічний аналіз системи, процесу або процедури. – До роботи залучаються експерти з різних сфер, включаючи фахівців із практичним досвідом, які, ймовірно, будуть впроваджувати рекомендації щодо управління ризиками. – Метод сприяє вибору рішень та способів управління ризиками. – Метод застосовують до широкого спектру систем, процесів і процедур. – Метод дозволяє детально аналізувати причини та наслідки помилок виконавців. 	<ul style="list-style-type: none"> – Докладний аналіз може займати багато часу, що робить його витратним. – Для детального аналізу необхідна наявність докладної документації та вимог до систем, процесів або процедур. – Дослідження HAZOP може бути орієнтоване на пошук конкретних рішень, а не на перегляд основних припущень, хоча цей недолік можна зменшити, застосовуючи метод поетапно. – Обговорення може фокусуватися на окремих проблемах проекту, не охоплюючи ширших або зовнішніх питань. – Метод обмежується завданнями проекту, а також сферою і цілями дослідження, встановленими для групи. – Метод ґрунтується на експертних оцінках проектувальників, які можуть мати труднощі з виявленням недоліків у своїх проектах.
FMEA	<ul style="list-style-type: none"> – Метод застосовується для аналізу відмов, що виникають через помилки персоналу, несправності обладнання та проблеми в роботі програмного забезпечення і процесів. – 	<ul style="list-style-type: none"> – Метод FMEA призначений лише для виявлення окремих відмов, а не їх комбінацій.

Продовження таблиці 1.1 – Переваги та недоліки методів аналізу ризиків

	<ul style="list-style-type: none"> – Цей метод дозволяє виявити види відмов компонентів, визначити їх причини та наслідки для системи, представляючи цю інформацію в зручному для користувача форматі. – Використання методу допомагає уникнути дорогих модифікацій обладнання під час технічного обслуговування, завдяки виявленню та усуненню проблем на ранніх етапах проектування. – Метод дозволяє виявити види відмов в окремих точках та визначити вимоги до резервування і систем безпеки. – Метод забезпечує отримання вхідних даних для розробки програм моніторингу, надаючи інформацію про необхідні об'єкти моніторингу та їх особливості. 	<ul style="list-style-type: none"> – Без належного контролю та спеціалізованого підходу такі дослідження можуть вимагати багато зусиль і бути витратними. – Використання методу FMEA може бути складним і тривалим для комплексних багаторівневих систем.
	<ul style="list-style-type: none"> – Запропонований підхід передбачає покроковий аналіз від конкретних подій до загальної причини. – Використання логічних операцій "І-АБО" та "АБО-І" дозволяє моделювати складні взаємозв'язки між елементами системи. – Графічне представлення у вигляді дерев несправностей візуалізує процес аналізу. 	<ul style="list-style-type: none"> – Невизначеність в оцінках ймовірностей базових подій впливає на ймовірність виникнення кінцевої події. – У деяких випадках початкові події можуть бути незалежними одна від одної, і іноді важко визначити, чи всі важливі шляхи до кінцевої події були враховані;

Кінець таблиці 1.1 – Переваги та недоліки методів аналізу ризиків

		– Дерево несправностей є статичною моделлю, яка не враховує фактори, пов'язані з тимчасовою залежністю.
FTA	– Метод ефективний для ідентифікації слабких місць у системах з великою кількістю компонентів –	– Дерево несправностей можна застосовувати лише до бінарних станів (працездатного та непрацездатного). – Хоча помилки людини можуть бути відображені в схемі дерева несправностей на якісному рівні, різниця в ступені та якості часто характеризує ці помилки, і їх врахування в дереві несправностей є досить складним. – Дерево несправностей не дозволяє легко врахувати і дослідити ланцюгові реакції (ефект доміно) та умовні відмови.

Резервування, в свою чергу, є важливим елементом підвищення надійності системи, особливо в умовах, коли елементи системи можуть бути недостатньо надійними, а вимоги до безвідмовної роботи є високими. Існує кілька видів резервування, серед яких структурне, інформаційне, часове та функціональне, які зображені на рисунку 1.2, кожне з яких має свої специфічні переваги та призначення: [69]

– структурне резервування передбачає використання додаткових елементів у складі системи. У разі виходу з ладу основних елементів, їх функції автоматично беруть на себе резервні компоненти, що забезпечує безперервну роботу системи. Це найбільш розповсюджений метод резервування, який може бути реалізований двома способами: загальне резервування або окреме (поелементне) резервування, які показані на рисунку 1.3;

- інформаційне резервування полягає у застосуванні надмірності в обробці або передачі даних. Його використовують для запобігання втратам чи спотворенням інформації, які можуть виникнути внаслідок збою чи відмови елементів системи;
- часове резервування забезпечується за рахунок використання надлишкового часу. У цій стратегії відмови елементів не порушують роботу системи протягом певного періоду, який відводять для ремонту чи відновлення зламаних компонентів. Також цей метод може передбачати багаторазове виконання однієї й тієї самої задачі для досягнення надійного результату;
- функціональне резервування полягає у тому, що елементи системи можуть виконувати додаткові функції у випадку виходу з ладу інших компонентів. Це дозволяє системі продовжувати роботу, навіть якщо деякі її частини більше не виконують свої початкові функції.[5, 6]



Рисунок. 1.2 – Типи резервування

Одним із ключових аспектів резервування є те, що воно часто лежить в основі архітектур систем безпеки. Для забезпечення більшої надійності та стійкості до відмов застосовуються різні види резервних архітектур, які показано на рисунку 1.4.

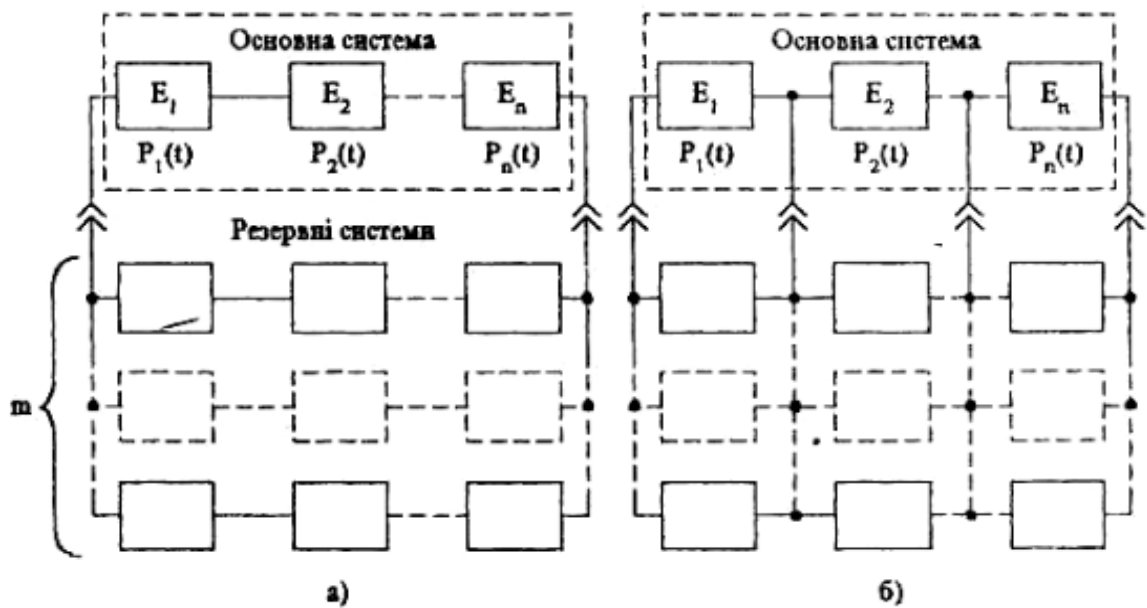


Рисунок 1. 3 – Схеми структурного резервування: а) загальне; б) поелементне

Архітектура 1оо1 (один з одного). У системі без резервування з архітектурою 1оо1 безпечною відмовою вважається розмикання релейного контакту і вимкнення системи, що призводить до помилкової зупинки. Інтенсивність таких відмов становить 0,04 на рік, що відповідає ймовірності помилкового відключення 4% протягом одного року. Середній час між такими відмовами (MTBFS) — 25 років. Небезпечною відмовою може бути ситуація, коли контакти реле приварюються і не можуть розімкнутися, що відбувається з інтенсивністю 0,02 на рік, що відповідає 2% ймовірності або MTBFD — 50 років.

Архітектура 1оо2 (один з двох). У системі з дубльованою архітектурою 1оо2 вихідні контакти з'єднані послідовно. Для зупинки системи достатньо відмови одного каналу. Через дублювання кількість помилкових відключень зростає до 0,08 на рік, тобто 8% ймовірності або MTBFS — 12,5 років. Небезпечна відмова виникає лише при одночасній відмові обох каналів з ймовірністю 0,0004 на рік, а MTBFD — 2500 років. Така архітектура забезпечує високу безпеку, але частіші помилкові зупинки.

Архітектура 2oo2 (два з двох). У цій системі обидва канали мають одночасно відключитися, щоб припинити процес. Інтенсивність небезпечних відмов зростає до 0,04 на рік через подвоєння компонентів, а MTBFD — 25 років. Ймовірність одночасних безпечних відмов дорівнює 0,0016 на рік, що відповідає MTBFS — 625 років. Хоча така система зменшує ймовірність помилкових зупинок, вона менш безпечна щодо небезпечних відмов.[3]

Архітектура 2oo3 (два з трьох). Вирішення в цій системі приймається на основі голосування двох із трьох каналів. Вона має вищу ймовірність помилкових зупинок, ніж 2oo2, але також кращі показники щодо відмов обох типів. Завдяки покращенню апаратного та програмного забезпечення, система 1oo2D здатна діагностувати відмови в каналах більш ефективно.[3]

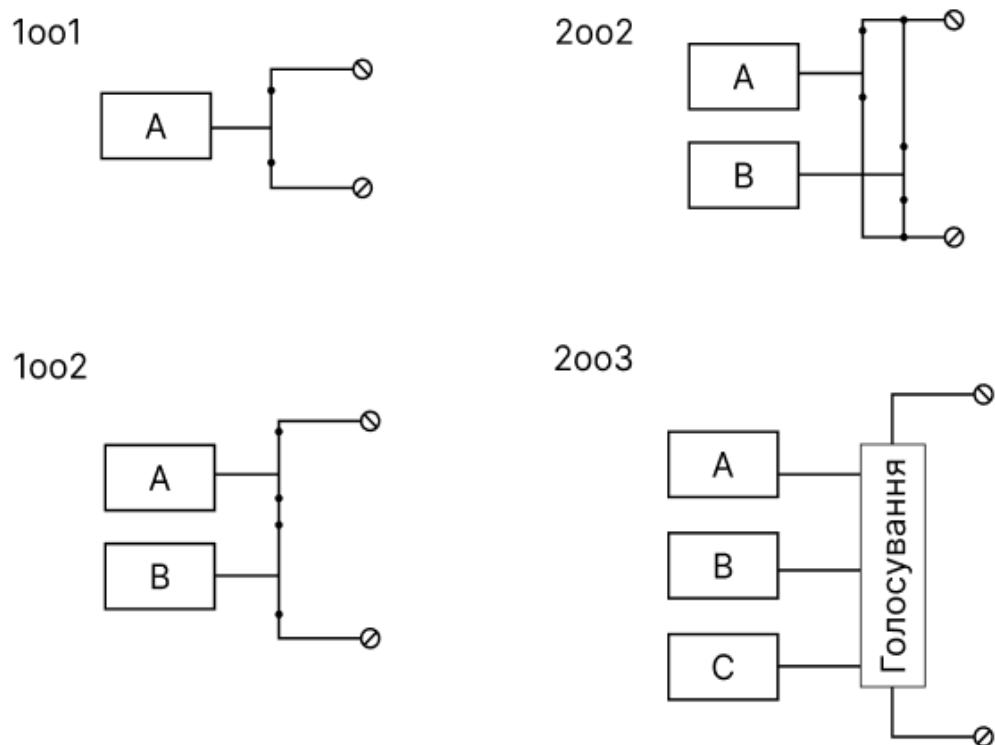


Рис. 1. 4 – Архітектури систем резервування

Таким чином, комбінування різних методів оцінки ризику, таких як HAZOP, FMEA та FTA, разом із застосуванням стратегій резервування може суттєво підвищити надійність та безпеку системи, забезпечуючи її ефективну роботу навіть у найскладніших умовах.

1.2 Опис об'єкта автоматизації

Дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) у тунелях мають специфічний характер через обмежений простір, погану вентиляцію та складність евакуації. Хоча кількість аварій у тунелях зазвичай нижча, ніж на відкритих дорогах, їхні наслідки можуть бути серйознішими. Основними причинами ДТП у тунелях є перевищення швидкості, недотримання дистанції та погана видимість. Крім того, пожежі, які виникають внаслідок аварій, можуть швидко поширюватися через обмежений доступ свіжого повітря та вентиляційні труднощі. Одними з найвідоміших катастроф є аварії в Монбланському тунелі у 2001 році. [1] В Монбланському тунелі пожежа, що виникла внаслідок ДТП з вантажівкою, забрала життя 39 людей, а в Готтарді зіткнення двох вантажівок призвело до масштабної пожежі, яка спричинила смерть 11 осіб. [2] Ці трагедії підкреслили важливість впровадження жорстких стандартів безпеки.

Саме для цього і потрібна автоматизована система керування рухом транспорту в тунелі (АКСРТТ). Така система у своєму складі повинна містити: датчики маси і висоти, датчики викидів CO та NO₂, камери загального виду, камери з функцією розпізнавання та фіксацією номерних знаків автомобілів, камера фіксації швидкості, датчики з фіксацією світла фар, контролери, операторні панелі, комп'ютерні мережі, і виконавчі механізми, такі як вентиляційна система та шлагбаум.[4]

Всі необхідні параметри можна задавати з панелі оператора або ЛМІ. До АКСРТТ висуваються наступні вимоги:

- фіксувати загальну обстановку на дорозі;
- повинна містити у своєму складі підсистему виявлення диму;
- забезпечувати керування вентиляційною системою, що дозволить забезпечити ефективне вентилявання з метою регулювання вмісту викидів у повітрі;

- забезпечувати оптимальний трафік у тунелі завдяки фіксації швидкості авто;
- обмежувати рух великогабаритних та важких автомобілів, що сприятиме збереженню дорожнього покриття та забезпечить підвищення пропускнуої здатності тунелю;
- забезпечити автономний та безперервний режим роботи протягом тривалого часу (10-12 місяців).

АКСРТТ повинна відповідати можливостям здійснювати програмне управління та включати функції, представлені на рисунках 1.5-1.7.



Рисунок 1.5 – Можливості АКСРТТ

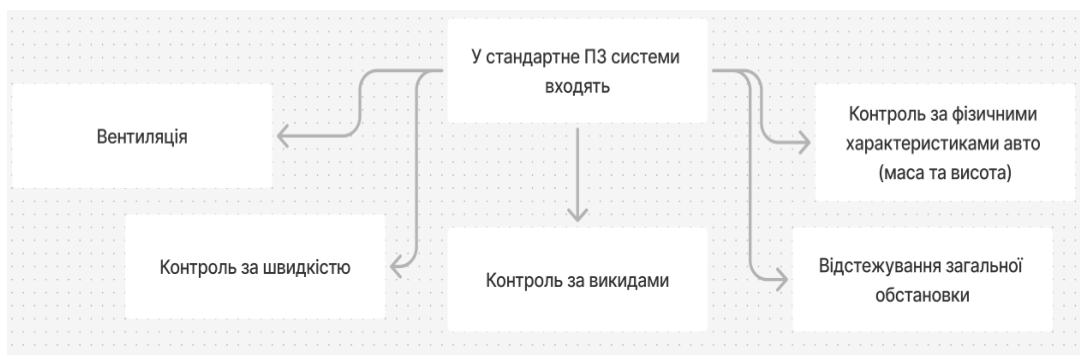


Рисунок 1.6 – Параметри програмного контролю АКСРТТ

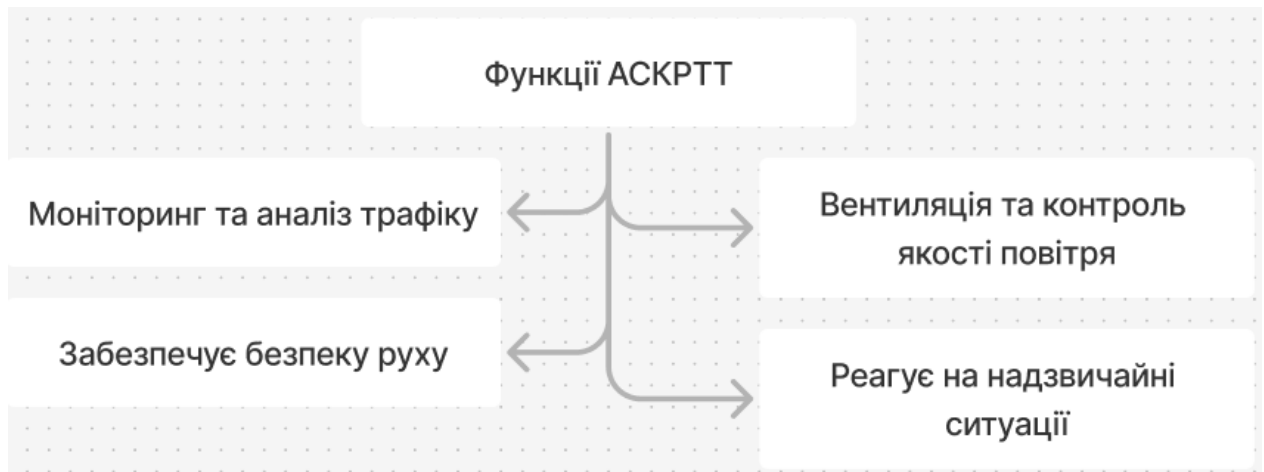


Рисунок 1.7 – Функції АКСРТТ

Роботою АКСРТТ керує контролер (ПЛК, СПО, веб-панель оператора, індустріальний комп'ютер, АРМ), який оснащений інтерфейсом користувача (ЛМІ). Завдяки цьому інтерфейсу оператори можуть відслідковувати всі показники системи, включаючи дані з камер спостереження та різноманітних датчиків.

Технологічні схеми АКСРТТ, для яких потрібно виконати проектування, наведені на рисунках 1.8-1.9

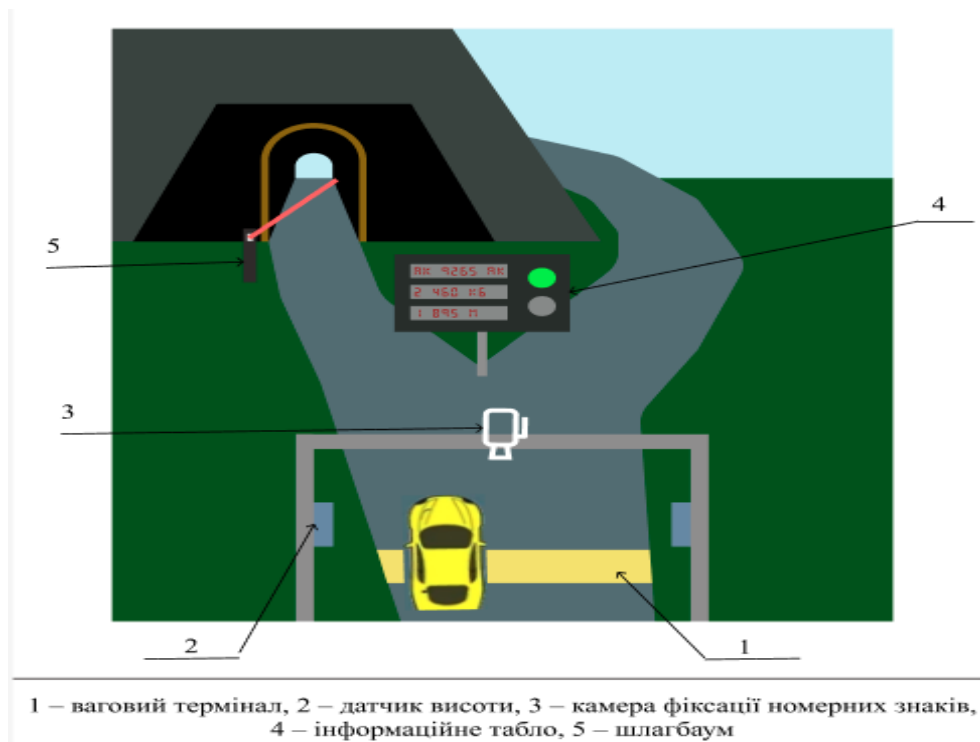


Рисунок 1.8 – Технологічна схема АКСРТТ перед в'їздом в тунель

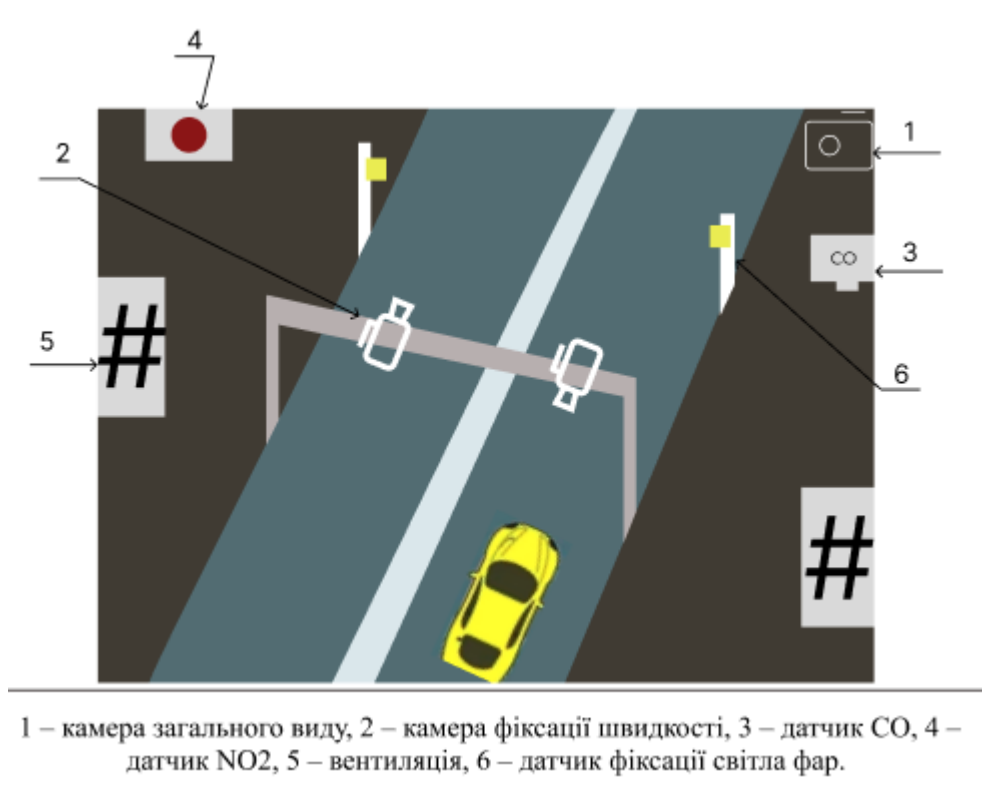


Рисунок 1.9 – Технологічна схема АСКРТТ в тунелі

1.3 Обґрунтування необхідності підвищення функціональної безпеки АСКРТТ

Підвищення функціональної безпеки АСКРТТ є критично важливим через високий рівень ризиків, пов'язаних з експлуатацією таких об'єктів. Тунелі є обмеженими просторами, де аварії можуть мати серйозні наслідки, включаючи загрозу для життя людей, блокування транспортних шляхів і значні матеріальні збитки. Тому функціональна безпека систем контролю має забезпечувати:

Своєчасне виявлення аварійних ситуацій: система повинна оперативно виявляти аварії, зіткнення, загоряння або будь-які інші загрозові події для мінімізації їх наслідків.

Координацію транспортних потоків: система контролю має забезпечувати плавний рух автотранспорту, запобігати перевантаженню

тунелю, а також швидко реагувати на зміни інтенсивності руху, зокрема шляхом використання автоматичних бар'єрів і сигналів.

Забезпечення вентиляції : у разі аварії система повинна автоматично активувати системи вентиляції для видалення диму або токсичних газів.

Моніторинг умов навколишнього середовища: необхідний постійний контроль за рівнем шкідливих речовин у повітрі для забезпечення безпечних умов руху.

Резервування критичних функцій: для підвищення надійності система повинна мати резервні канали і компоненти (структурне та функціональне резервування), щоб забезпечити безперервність роботи в разі відмови окремих елементів.

Суттєву роль у забезпеченні безпеки в тунелях відіграє стандарт ISO 39001, який встановлює вимоги до систем управління безпекою дорожнього руху. Його основна мета – зниження кількості ДТП та тяжкості їх наслідків шляхом впровадження ефективних процесів і заходів безпеки. Впровадження цього стандарту в рамках інтелектуальних транспортних систем (ІТС) сприяє підвищенню функціональної безпеки та покращенню загальної якості управління транспортними потоками.

Основні вимоги ISO 39001 [8, 49-51]:

Політика та зобов'язання: Організації, що впроваджують ISO 39001 повинні розробити чітку політику безпеки дорожнього руху. Ця політика має враховувати національні та міжнародні вимоги, нормативні акти, а також особливості діяльності організації. Важливо, щоб керівництво організації було повністю залучене до реалізації цієї політики, гарантуючи її підтримку на всіх рівнях.

Цілі та плани: Стандарт передбачає необхідність встановлення конкретних, вимірюваних, досяжних та реалістичних цілей для зниження кількості ДТП і їх наслідків. Організація повинна розробляти стратегії для

досягнення цих цілей, зокрема шляхом вдосконалення транспортної інфраструктури, навчання водіїв та модернізації транспортних засобів.

Ідентифікація ризиків: ISO 39001 вимагає систематичного аналізу ризиків, пов'язаних із безпекою дорожнього руху. Це включає в себе оцінку поведінки водіїв, вплив погодних умов, технічний стан транспортних засобів, а також стан дорожньої інфраструктури. Організації повинні розробляти заходи для мінімізації виявлених ризиків.

Управління ключовими чинниками: Стандарт ISO 39001 підкреслює важливість моніторингу та контролю ключових елементів, що впливають на безпеку дорожнього руху, зокрема:

Швидкість руху: Контроль за дотриманням швидкісних режимів.

Технічний стан транспортних засобів: Регулярні перевірки та обслуговування транспортних засобів.

Безпека інфраструктури: Забезпечення належного стану доріг, дорожніх знаків, освітлення тощо.

Навчання водіїв: Підвищення кваліфікації водіїв, особливо щодо безпечної поведінки на дорозі.

Контроль і вимірювання результативності: ISO 39001 передбачає регулярний моніторинг і вимірювання результативності заходів, спрямованих на підвищення безпеки. Це включає в себе збір даних про аварійність, проведення аудиту системи безпеки та впровадження коригувальних дій у разі виявлення недоліків.

Постійне вдосконалення: Одна з ключових вимог стандарту – це створення механізмів для постійного вдосконалення системи управління безпекою дорожнього руху. Організації повинні проводити регулярний перегляд політик, процесів і заходів, оцінювати їхню ефективність і вносити необхідні корективи

1.4 Висновки до першого розділу

У цьому розділі детально розглянуто та проаналізовано склад та функціональні вимоги до АКСРТТ. До основних компонентів таких систем належать різні типи датчиків: датчики маси та висоти, датчики викидів CO, датчики NO₂, датчики освітлення, а також камери загального виду та спеціалізовані камери з функціями розпізнавання і фіксації номерних знаків автомобілів, камери фіксації швидкості. Крім того, до складу АКСРТТ входять контролери, операторні панелі, комп'ютерні мережі та виконавчі механізми, такі як вентиляційна система та шлагбаум

Також у цьому розділі детально розглянуто різні методи аналізу функціональної безпеки систем, які є ключовими для забезпечення безперебійної та надійної роботи АКСРТТ. Зокрема, було проаналізовано підходи до резервування системи, що дозволяють знизити ризики відмов та підвищити надійність роботи в умовах потенційних збоїв. Резервування забезпечує наявність додаткових, дублюючих компонентів або підсистем, які автоматично активуються у разі відмови основного обладнання, тим самим мінімізуючи простої або втрату даних.

2 ПОБУДОВА МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ АСКРТТ

2.1 Вибір технічних компонентів вимірювально-обчислювальних системи

У цьому розділі розглянуто та визначено основні характеристики надійності інтегрованої вимірювально-системної (ІВС) АСКРТТ. Вони запозичені з класичної теорії надійності технічних систем та адаптовані до специфіки досліджуваної системи в межах поставлених завдань. Зокрема, серед цих характеристик виділяються:

- ймовірність безвідмовної роботи, яка відображає здатність системи або її компонентів працювати без збоїв протягом заданого часу;
- середнє напрацювання на відмову, що визначає середній час між послідовними відмовами;
- інтенсивність відмов, яка характеризує частоту виникнення відмов у часі.

Ці кількісні показники можуть бути застосовані як до окремих компонентів ІВС АСКРТТ, так і до системи в цілому. Проте варто зазначити, що підхід до їх оцінювання значно відрізняється. Якщо для окремих компонентів можливо використовувати експериментальні дані або регламентні значення, що надаються виробником обладнання, то для комплексної системи, яка має ієрархічну структуру, такі показники мають бути розрахунковими.

Розрахунок таких характеристик здійснюється на основі створення моделі системи у вигляді карти надійності. Ця модель враховує як структурні, так і функціональні особливості ІВС АСКРТТ, що дає змогу точно оцінити її надійність у реальних умовах експлуатації. На основі отриманих даних стає можливим порівняння вихідного стану системи з покращеним, що дозволяє визначити ефективність методів підвищення її надійності.[11]

Для цього першочерговим завданням є проведення структурної декомпозиції ІВС АСКРТТ, що дозволить виокремити окремі компоненти системи та оцінити їх взаємодію. Як правило, наявність інтегрованої

вимірювально-обчислювальної системи (ВОК) вже свідчить про певну структурну організацію системи, схема якої представлена на рисунку 2.1.

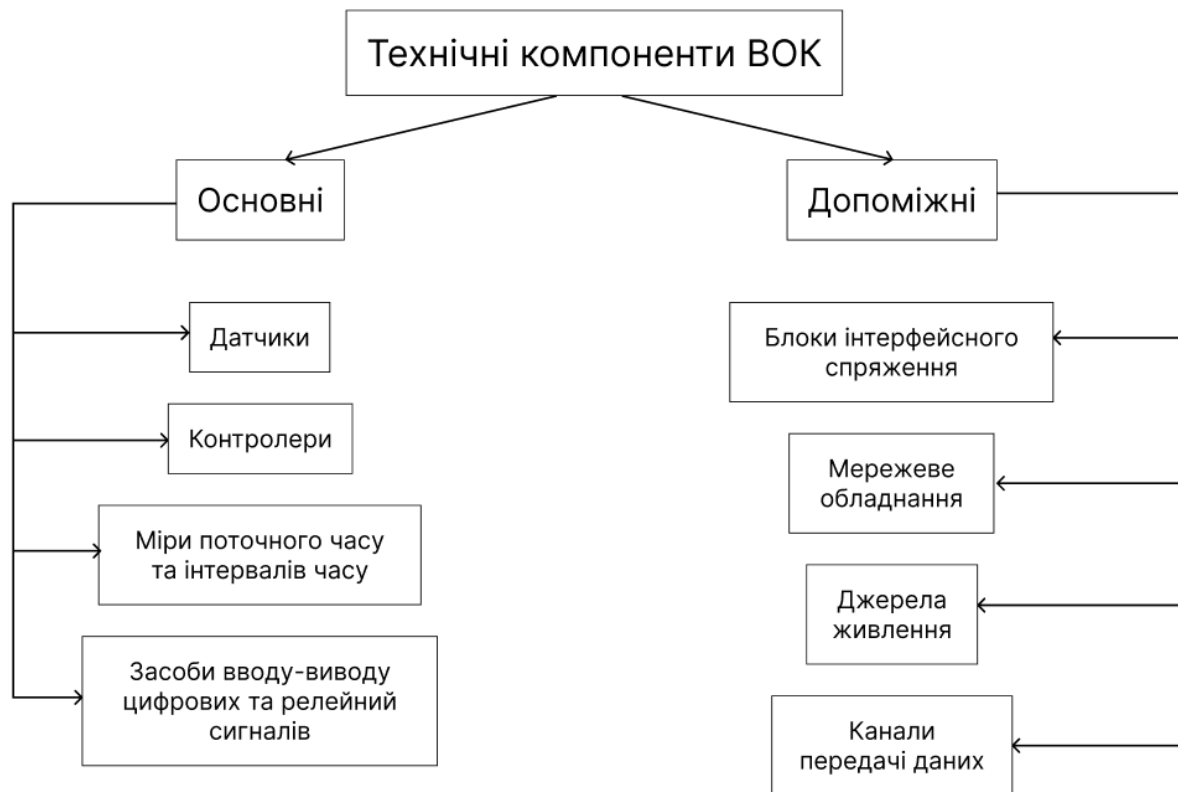


Рисунок 2.1 – Технічні компоненти ВОК

Все технічне обладнання, що входить до складу ВОК, поділяється на основне, яке виконує ключові функції, та допоміжне, яке забезпечує передачу даних від джерел (датчиків) до пристроїв обробки інформації. Однак, з позиції дослідження надійності, усі елементи обладнання розглядаються як рівнозначні. Головну роль відіграють порядок їх інтеграції у систему та взаємозв'язок у роботі, які визначають загальну надійність і стабільність функціонування комплексу.[12]

Послідовно-паралельні зв'язки між компонентами ІВС забезпечують передачу даних і резервування, створюючи надійну та гнучку структуру. У системі поєднуються послідовні та паралельні з'єднання залежно від функціональних особливостей взаємодії між елементами, що видно зі схем.

На початку, як показано на рисунку 2.2, дані передаються через послідовне з'єднання між датчиком (Д) та перетворювачем сигналу (ПС). Це базова структура, у якій інформація передається без розгалужень, забезпечуючи послідовність і стабільність.

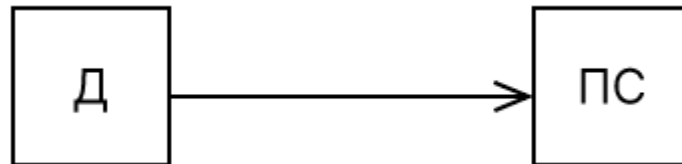


Рисунок 2.2 –З'єднання між датчиком та перетворювачем сигналу

Наступним етапом є послідовний зв'язок між ПС та контролером (К), відображений на рисунку 2.3, де інформація надходить далі через пряме з'єднання.

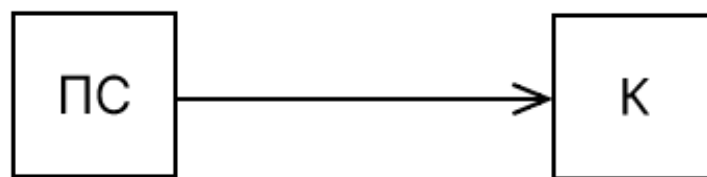


Рисунок 2.3 – З'єднання між перетворювачем сигналу та контролером

Для підвищення надійності в системі реалізовані паралельні зв'язки. Наприклад, на рисунку 2.4 показано, як кілька контролерів функціонують одночасно. Така структура не лише забезпечує одночасну обробку даних, а й створює резервування на випадок відмови одного з контролерів.[13]

Передача інформації в мережу починається з контролера (К), який послідовно з'єднується з мережевим кабелем (МКб), як видно на рисунку 2.5. Аналогічно, мережевий концентратор (МКн) передає дані до кабелю через послідовне з'єднання, що зображено на рисунку 2.6. Цей етап є ключовим для підключення локальних елементів системи до мережі.

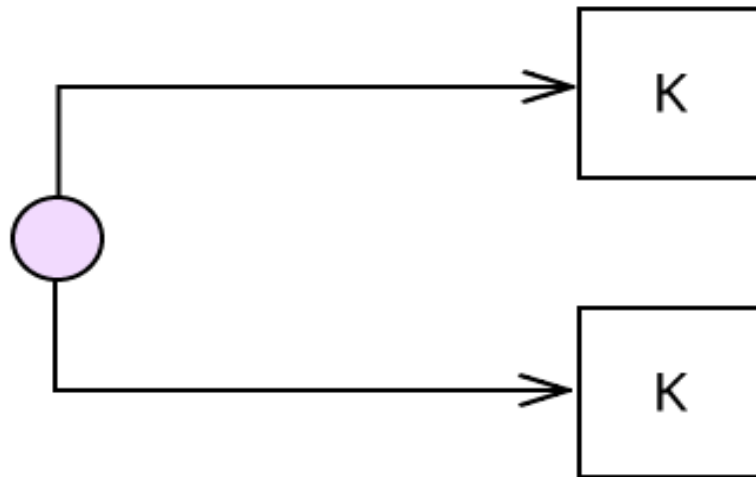


Рисунок 2.4 – З'єднання між контролерами

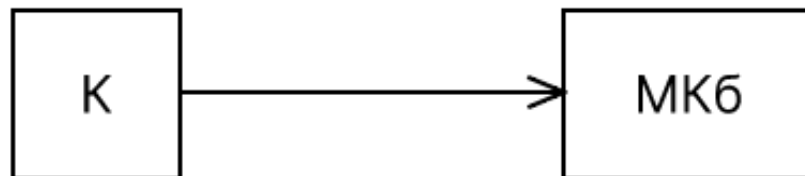


Рисунок 2.5 – З'єднання між контролером та мережевим кабелем

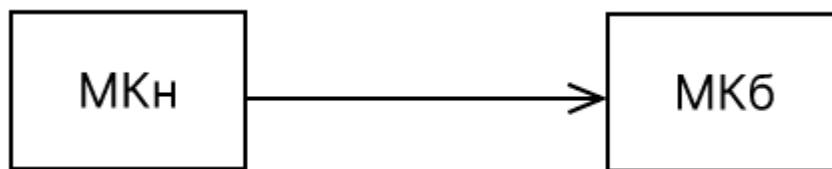


Рисунок 2.6 – З'єднання між мережевим концентратором та мережевим кабелем

Для підвищення надійності мережі використовується паралельна взаємодія між кількома МКн, як видно на рисунку 2.7 Така структура забезпечує резервування та мінімізує ризик втрати даних через збій одного з концентраторів.

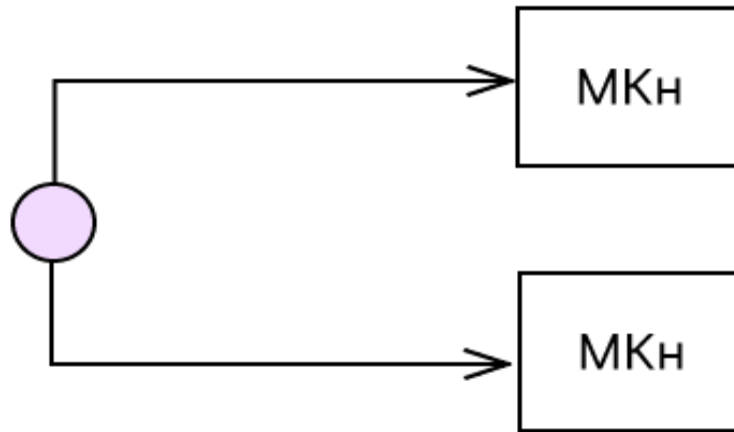


Рисунок 2.7 – З'єднання між мережевими концентраторами

Як показано на рисунку 2.8, сервер (С) з'єднується з МКБ через послідовне з'єднання, забезпечуючи передачу даних у мережу. Водночас, паралельна взаємодія між кількома серверами, що відображена на рисунку 2.9, дозволяє здійснювати одночасну обробку великих обсягів інформації або компенсувати відмову одного з компонентів за рахунок резервування.

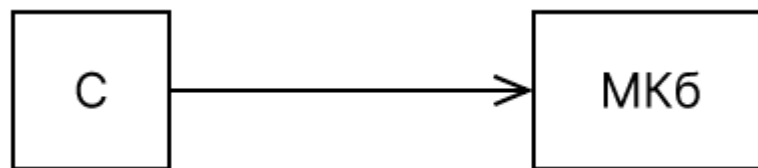


Рисунок 2.8 – З'єднання між сервером та мережевим кабелем

Таким чином, структура ІВС включає як послідовні, так і паралельні зв'язки між ключовими компонентами: датчиками, перетворювачами сигналу, контролерами, мережевими концентраторами, кабелями та серверами. Послідовні з'єднання забезпечують стабільну передачу інформації, тоді як паралельні підвищують надійність системи, додаючи гнучкість і резервування. Завдяки такій структурі ІВС залишається стійкою до відмов, ефективною та адаптованою до різноманітних умов експлуатації.[14]

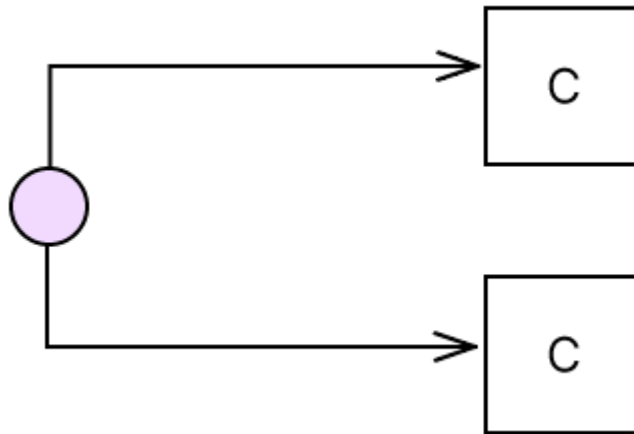


Рисунок 2.9 – З'єднання між серверами

Описані послідовний тип з'єднання характерний для компонентів, які перестають функціонувати при виході з ладу одного з них, тоді як при паралельному з'єднанні, вихід з ладу одного з компонентів не впливає на працездатність іншого.

Поступове обчислення параметрів надійності вузлів в ієрархічній структурі АСКРТТ, починаючи від елементів нижчих рівнів підпорядкування (сенсорів, мікроконтролерів, та ін..), і закінчуючи системою в цілому, можна обчислити комплексний показник ймовірності безвідмовної роботи системи.

2.2 Побудова моделі АСКРТТ як карти надійності

Технічні системи, включно з АСКРТТ, зазвичай характеризуються складними та багаторівневими структурними схемами надійності. Побудова таких схем досягається шляхом поєднання та компоновання існуючих елементів, що дозволяє створювати ефективні, адаптивні та надійні рішення. Такий підхід сприяє збереженню балансу між функціональністю, вартістю та стійкістю до зовнішніх і внутрішніх впливів.[11]

Одним із визначальних чинників надійності АСКРТТ є конфігурація її ІВС, яка слугує фундаментом апаратного забезпечення. ІВС виконує важливу роль у забезпеченні безперебійної роботи всієї системи. Зазвичай ІВС АСКРТТ побудована на паралельно-послідовних структурах, які складаються з

основного та допоміжного вимірювального обладнання. Крім того, до її складу входять компоненти, що реалізують фізичне середовище передачі даних від сенсорів до серверів системи. Ці елементи забезпечують швидку та надійну передачу даних від сенсорів до серверів, де відбувається їхня первинна обробка.

На етапі обробки сирі дані перетворюються у формат, який відповідає вимогам імітаційної моделі. Такий формат дозволяє точно відображати стани системи та переходи між ними, забезпечуючи високу точність моделювання й прогнозування. Це важливо для забезпечення стабільності системи в умовах змінних навантажень і впливів зовнішніх факторів.[16-19]

Центральні компоненти АСКРТТ, які побудовані на основі синхронної моделі, значною мірою залежать від якості програмного та математичного забезпечення. Це забезпечення не лише визначає функціональні можливості системи, але й впливає на її здатність ефективно реагувати на нештатні ситуації. Для таких систем розроблені та застосовуються сталі методи діагностики, моніторингу та усунення збоїв, що дозволяє забезпечити високий рівень надійності та мінімізувати ризики втрати функціональності.

Карта надійності АСКРТТ, яка демонструє взаємодію її елементів, може бути представлена у вигляді послідовно-паралельних структур, що ілюструють функціональні зв'язки між компонентами. На рисунку 2.10 наведено карту системи, яка дозволяє не лише оцінити її загальну надійність, але й виявити слабкі місця, що потребують вдосконалення. Таким чином, структурний підхід до аналізу та проектування АСКРТТ сприяє підвищенню ефективності, стабільності та довговічності її функціонування.

Зі структурної схеми АСКРТТ видно, що найбільш насиченим з точки зору компонентів системи, що розглядаються в інтегральних розрахунках є ІВС АСКРТТ, а інші компоненти АСКРТТ можна розглядати комплексно як окремі елементи.

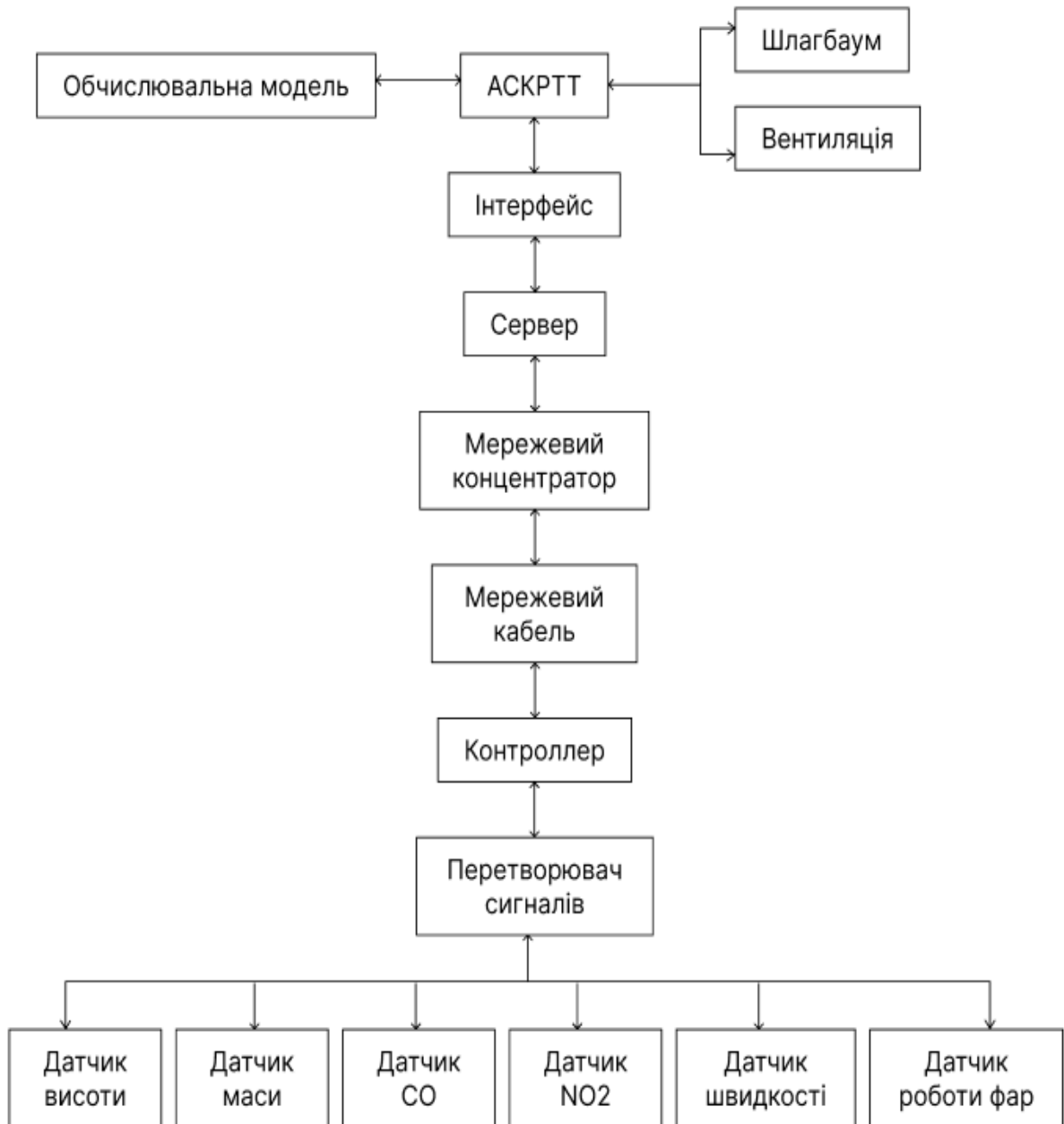


Рисунок 2.10 – Структурна схема АКСРТТ

Процес оцінки надійності ієрархічної структури системи починається з поступового визначення параметрів надійності окремих вузлів. Це охоплює елементи нижчих рівнів підпорядкування, такі як сенсори, мікроконтролери, та інші компоненти базового рівня. Піднімаючись по ієрархії до більш високих рівнів, проводиться узагальнення результатів, що дозволяє розрахувати інтегральний показник ймовірності безвідмовної роботи системи в цілому.

Після отримання комплексного показника ймовірності безвідмовної роботи наступним важливим етапом дослідження є пошук шляхів підвищення надійності як окремих компонентів, так і всієї системи. Це включає аналіз можливих вдосконалень на апаратному, програмному та інфраструктурному рівнях. Під час реалізації таких заходів необхідно проводити повторний розрахунок показників надійності, що дозволяє оцінити ефективність застосованих методів і заходів у конкретних умовах експлуатації системи.[15]

Для забезпечення зручності аналізу всі компоненти системи умовно поділяють на три основні групи відповідно до їх функціонального призначення. Такий підхід полегшує обчислення, дозволяючи сфокусувати увагу на специфічних аспектах функціонування кожної групи. Графічне представлення цієї класифікації наведено на рисунках 2.11–2.13, де кожна група ілюструє ключові взаємозв'язки між компонентами та їх вплив на загальну надійність системи.

Дані графічні подання використовується для представлення взаємозалежності параметрів надійності структурних елементів системи, що досліджується на надійність, і є необхідною для отримання розрахункових параметрів надійності як окремих елементів системи, так і системи в цілому.

На карті послідовно поєднані елементи, вихід з ладу яких впливає на роботу всієї вітки зображеного дерева, а паралельно – елементи, вихід з ладу яких не переводить систему в непрацездатний стан, але все ж створює нештатну ситуацію.[12-14]

Графічні моделі, представлені в даній роботі, використовуються для демонстрації взаємозв'язку параметрів надійності структурних компонентів досліджуваної системи. Ці моделі є ключовим інструментом для визначення розрахункових показників надійності як окремих елементів, так і системи в цілому.

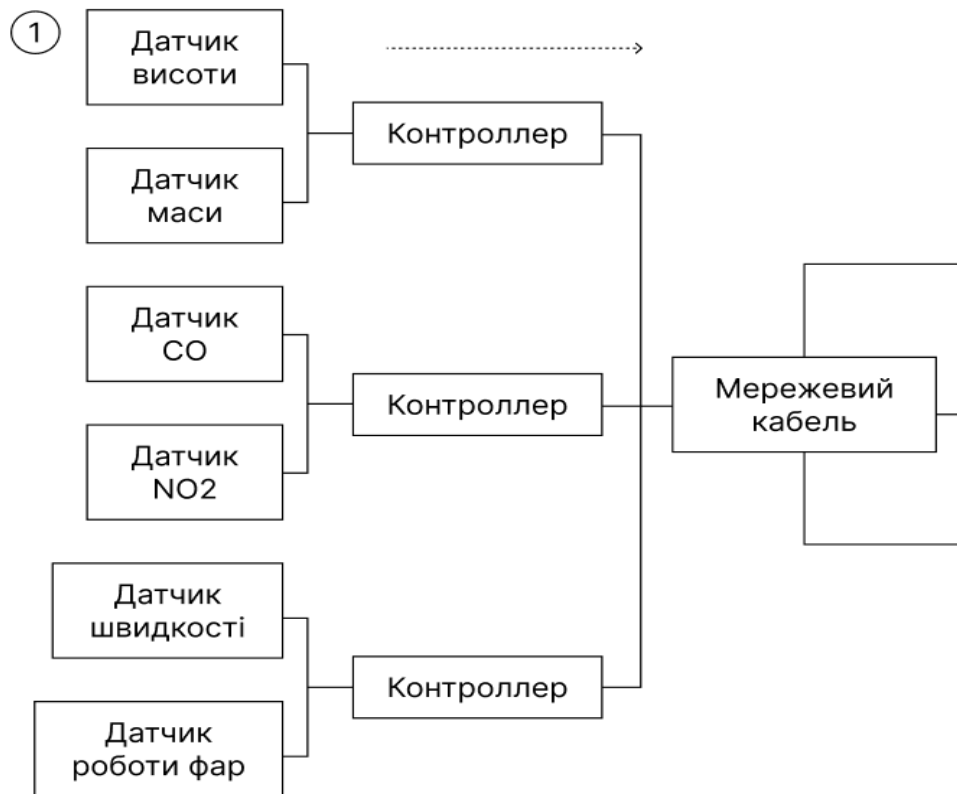


Рисунок 2.11 – Вимірювальна група



Рисунок 2.12 – Транспортна група

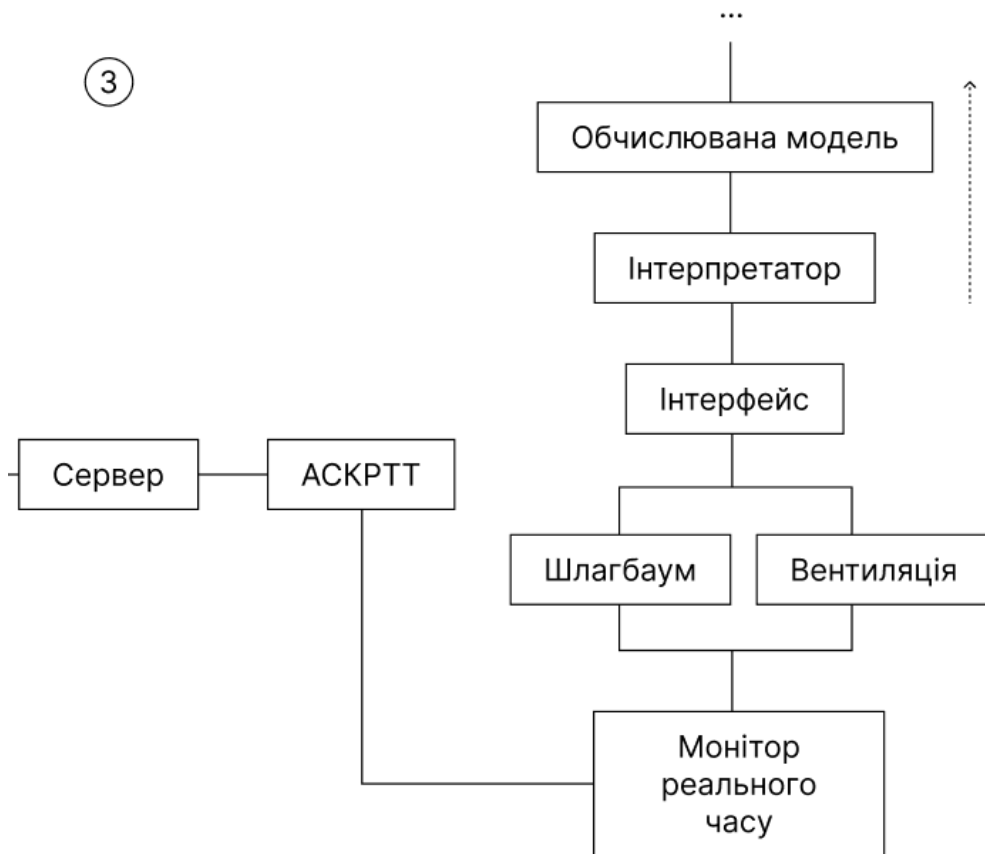


Рисунок 2.13 – Обчислювальна група

На схемах відображено послідовне та паралельне поєднання елементів системи. Послідовне з'єднання показує ті компоненти, вихід з ладу яких безпосередньо призводить до порушення роботи всієї гілки або навіть системи загалом. Паралельне з'єднання, у свою чергу, ілюструє компоненти, відмова яких не робить систему повністю непрацездатною, але може створювати нестандартні або аварійні ситуації, що потребують подальшого аналізу і корекції.

2.3 Розрахунок показників надійності СОУ ГВС на базі карти надійності

Для визначення розрахункових параметрів слід скористатися картою надійності, розробленою у попередньому підрозділі. Процес розрахунку починається з аналізу характеристик окремих елементів системи. Ці характеристики можуть бути отримані з трьох джерел: номінальних значень,

зазначених виробником обладнання, або результатів експериментальних досліджень.

Як показано на рисунку 2.х-2.х., модель надійності ІВС АСКРТТ можна умовно розділити на три групи компонентів, які з'єднані між собою послідовно. Для оцінки надійності системи використовуємо параметр ймовірність безвідмовної роботи.

Основною умовою забезпечення працездатності всієї системи є працездатність кожного її компонента. У формальному вигляді це можна записати за допомогою логічної функції (2.1):

$$F = \text{Group1} \wedge \text{Group2} \wedge \text{Group3} \quad (2.1)$$

Після виконання мінімізації, спрощення та переходу до числових обчислень арифметизації логічного виразу, що описує залежність працездатності системи від її компонентів, отримуємо кінцевий спрощений вираз (2.2):

$$F = \text{Group1} \cdot \text{Group2} \cdot \text{Group3}. \quad (2.2)$$

Тоді загальна ймовірність для всієї АСКРТТ (P_s) буде розрахована за формулою 2.3:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) = \prod_{i=1}^3 P_i(t). \quad (2.3)$$

Ймовірності безвідмовної роботи груп вузлів, представлених трьома групами на карті надійності, позначаються як $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$. Як видно з формули (2.3), залежність від часу в розрахунках зумовлена характером зміни ймовірності безвідмовної роботи впродовж періоду експлуатації обладнання.

Це обумовлено тим, що розподіл імовірностей залежить від фізичних властивостей компонентів, режиму їх роботи та часу експлуатації.

Як зазначено в підрозділі 2.1, для виконання інтегральних розрахунків зазвичай використовуються заводські або експериментальні характеристики надійності. До них належать такі параметри, як середнє напрацювання на відмову MTBF або ймовірність виникнення відмов. Однак, автоматизована система керування ієрархічна за своєю структурою, і взаємозв'язки між елементами впливають на загальну надійність. У залежності від структурної схеми, одні компоненти можуть залежати від працездатності інших, що вимагає використання різних методик розрахунків, залежно від типу з'єднання компонентів.

Надійність системи розраховують із урахуванням різних схем з'єднання елементів:

- послідовне з'єднання;
- паралельне з'єднання.

Розглянемо розрахунок ймовірності безвідмовної роботи для кожної групи компонентів окремо. Згідно з картою надійності, працездатність інтегрованої системи ІВС залежить від працездатності всіх її елементів. Зокрема, система буде непрацездатною, якщо хоча б один елемент третьої групи відмовить. Таким чином, умову працездатності можна представити у вигляді логічної функції, наведеної у формулі (2.4):

$$F_{g3} = MRT \wedge (Sh \vee V) \wedge IN \wedge IT \wedge CM \wedge S, \quad (2.4)$$

де MRT – монітор реального часу, Sh –шлагбаум, V – вентиляція, IN – інтерпретатор, IT – інтерфейс, CM – обчислювальна модель, S – сервер.

Після виконання мінімізації, спрощення та приведення виразу до числової форми відповідно до правил булевої алгебри, отримаємо формулу(2.5):

$$F_{g3} = MRT \cdot (Sh + V) \cdot IN \cdot IT \cdot CM \cdot S. \quad (2.5)$$

Підставивши у вираз для логічної функції замість подій їхні ймовірності безвідмовної роботи, отримуємо формулу (2.6) для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи третьої групи компонентів:

$$P_3(t) = P_{MRT}(t) \cdot (P_{Sh}(t) + P_V(t)) \cdot P_{IN}(t) \cdot P_{IT}(t) \cdot P_{CM}(t) \cdot P_S(t). \quad (2.6)$$

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи для другої групи компонентів ІВС є більш складним, оскільки враховує особливості зв'язку між мережевими концентраторами та компонувальними одиницями гнучкої виробничої системи (ГВС), у межах якої досліджується АСКРТТ. На цей розрахунок впливає топологія ГВС, а також ступінь насиченості ІВС датчиками.

З урахуванням типу СОУ ГВС, що аналізується, а саме — АСКРТТ ГВС із обчислювальною моделлю, характерною для невеликих або середньосерійних систем із однією чи кількома гнучкими автоматизованими лініями, можна зробити висновок, що структура ІВС передбачає відповідність мережеских концентраторів одній виробничій лінії.

Це дозволяє спростити аналіз і прийняти, що в межах карти надійності слід розглядати паралельне компонування мережеских концентраторів.

Ще одним важливим аспектом, що впливає на кінцевий розрахунок ймовірності безвідмовної роботи, є логічна функція працездатності, яка залежить від характеру взаємозв'язку гнучких ліній. У цьому контексті необхідно розглянути кілька можливих сценаріїв:

– всі гнучкі лінії (а отже, і мережеві концентратори) є незалежними, що відповідає логічним моделям, представленим у формулах (2.7 – 2.9).

$$\overline{F}_2 = \overline{F}_{l1} \wedge \overline{F}_{l2} \wedge \dots \wedge \overline{F}_{ln}; \quad (2.7)$$

$$Q_2(t) = [1 - P_{l1}(t)] \cdot [1 - P_{l2}(t)] \cdot \dots \cdot [1 - P_{ln}(t)] = \prod_{i=1}^n [1 - P_{li}(t)]; \quad (2.8)$$

$$P_2(t) = 1 - Q_{ln}(t) = \prod_{i=1}^n [1 - P_{li}(t)]. \quad (2.9)$$

- робота деяких виробничих ліній залежить від роботи інших.

У цьому випадку слід змінити структуру з паралельної на більш складну послідовно-паралельну, враховуючи взаємозалежність виробничих ліній, що впливає на загальну надійність системи. Процес розрахунку відбувається поступово: спершу визначається ймовірність безвідмовної роботи компонентів, з'єднаних паралельно, використовуючи формулу (2.7). Потім цей результат підставляється у формулу для послідовного з'єднання, що дозволяє обчислити загальну ймовірність безвідмовної роботи системи як добуток ймовірностей роботи окремих блоків.[11]

Щодо першої групи обладнання ВОК, її можна завжди розглядати як систему, що складається з мережевих кабелів і вимірювальних компонентів (датчиків, контролерів, перетворювачів сигналу), які з'єднані паралельно між собою. У межах кожного підключення ці компоненти, своєю чергою, з'єднуються послідовно, що враховується при побудові розрахункової моделі.

Для упорядкування розрахунків використаємо такі умовні позначення:

- Dt – датчик;
- SC – перетворювач сигналу;
- Cn – контролер.

Логічна функція надійності роботи першої групи для підключених датчиків буде наступною (2.10)

$$F_1 = \overline{(Dt_1 \wedge SC_1 \wedge Cn_1)} \wedge \overline{Dt_2 \wedge SC_2 \wedge Cn_2} \wedge \dots \wedge \overline{Dt_n \wedge SC_n \wedge Cn_n}. \quad (2.10)$$

Застосувавши подібні перетворення, як і під час розрахунків ймовірності безвідмовної роботи попередніх груп обладнання, отримаємо такий результат (2.11):

$$P_1(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_{Dti}(t) \cdot P_{Sci}(t) \cdot P_{Cni}(t)]. \quad (2.11)$$

Таким чином, підсумковий розрахунок ймовірності безвідмовної роботи на певний момент часу всієї АСКРТТ можна провести шляхом підстановки формули 2.6, 2.9, та 2.11 у формулу 2.3 отримаємо 2.12:

$$P(t) = P_{MRT}(t) \cdot (P_{Sh}(t) + P_V(t)) \cdot P_{IN}(t) \cdot P_{IT}(t) \cdot P_{CM}(t) \cdot P_S(t) \cdot \{1 - \prod_{i=1}^n [1 - (1 - \prod_{j=1}^{k_i} [1 - P_{Dti}(t) \cdot P_{Sci}(t) \cdot P_{Cni}(t)])]\}, \quad (2.12)$$

де n – кількість мережевих концентраторів, а k_i – кількість датчиків, закріплених за кожним мережевим концентратором.

Після отримання вказівок щодо розрахунку ймовірності безвідмовної роботи системи необхідно перейти до створення системи технічної діагностики, центральним елементом якої є модель об'єкта діагностики. Така модель дозволяє врахувати всі ключові характеристики та особливості роботи системи, що є основою для ефективного моніторингу її стану.[15]

Система технічної діагностики є важливою складовою будь-якої системи, де проводиться аналіз надійності. Її головною метою є виявлення потенційних або наявних несправностей, що дозволяє своєчасно застосовувати методи підвищення надійності. Це особливо важливо у випадках виникнення нештатних ситуацій, коли зниження ефективності чи відмова окремих компонентів системи може вплинути на її загальну працездатність.

2.4 Висновки до другого розділу

У розділі було визначено основні підходи до аналізу надійності ІВС АСКРТТ та їх компонентів. Основну увагу приділено оцінці таких показників надійності, як ймовірність безвідмовної роботи, середній час до відмови та

інтенсивність відмов. Розрахунки базувалися на моделюванні системи у вигляді карти надійності, яка враховує структурні та функціональні особливості компонентів. Для комплексних ієрархічних систем, таких як АСКРТТ, розрахунок показників надійності залежить від типу з'єднання елементів. Для цього була створена структурна карта надійності, яка відображає функціональні зв'язки між компонентами.

Окремі компоненти ІВС, такі як датчики, контролери, перетворювачі сигналу та сервери, були класифіковані за їх функціональними ролями. Було враховано як послідовні з'єднання, що забезпечують стабільну передачу даних, так і паралельні, які підвищують надійність за рахунок резервування. Представлена карта надійності дозволила визначити слабкі місця системи та оцінити вплив відмов окремих компонентів на працездатність усієї системи. Було встановлено, що взаємозв'язок елементів є критичним для забезпечення загальної надійності.

Для кожної групи компонентів були розроблені формули розрахунку ймовірності безвідмовної роботи з урахуванням специфіки зв'язків між елементами. Підхід включає обчислення параметрів надійності на нижчих рівнях ієрархії з поступовим переходом до інтегрального показника для всієї системи. Було також підкреслено важливість створення системи технічної діагностики для моніторингу стану системи в реальному часі, прогнозування можливих відмов та підвищення надійності під час виникнення нештатних ситуацій.

У розділі розроблено цілісний підхід до аналізу та оцінки надійності складних інтегрованих систем, таких як АСКРТТ. Це дозволяє не лише оцінювати поточну надійність системи, але й знаходити шляхи її покращення, враховуючи всі структурні та функціональні взаємозв'язки між компонентами.

3 АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСКРТТ

3.1 Розробка блок схеми алгоритму та програми керування

Сучасні автоматизовані системи керування відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки транспортних засобів, особливо в умовах зростаючих вимог до дорожньої інфраструктури. Це особливо актуально для тунелів, де умови руху обмежуються не лише швидкістю, але й фізичними параметрами транспортних засобів, такими як вага, габарити та освітлення. Дотримання цих параметрів є вирішальним для запобігання аварій, захисту інфраструктури та забезпечення безпеки руху в тунелях.

Для ефективного контролю цих вимог розробляються алгоритми, що здійснюють безперервний моніторинг транспорту та довкілля. Вони виявляють порушення встановлених норм і виконують коригувальні дії, такі як автоматичне керування шлагбаумами, регулювання вентиляції або фіксація порушень. У рамках цієї концепції запропонована автоматизована система керування, яка складається з п'яти підсистем:

- підсистема визначення габаритних та вагових параметрів,
- підсистема керування шлагбаумом,
- підсистема визначення швидкості транспорту та ввімкнення фар,
- підсистема керування рівнем освітленості у тунелі,
- підсистема керування вентиляційною системою з використанням датчиків для контролю вмісту CO та NO₂.

Перші дві підсистеми встановлюються перед в'їздом у тунель і забезпечують попередній контроль параметрів транспортного засобу, тоді як інші три розташовані в самому тунелі, забезпечуючи безпеку та комфорт під час руху. Алгоритм спостереження за рухом транспорту представлено на рисунку 3.1 дозволяє інтегрувати ці підсистеми, забезпечуючи повний контроль за дотриманням усіх необхідних вимог

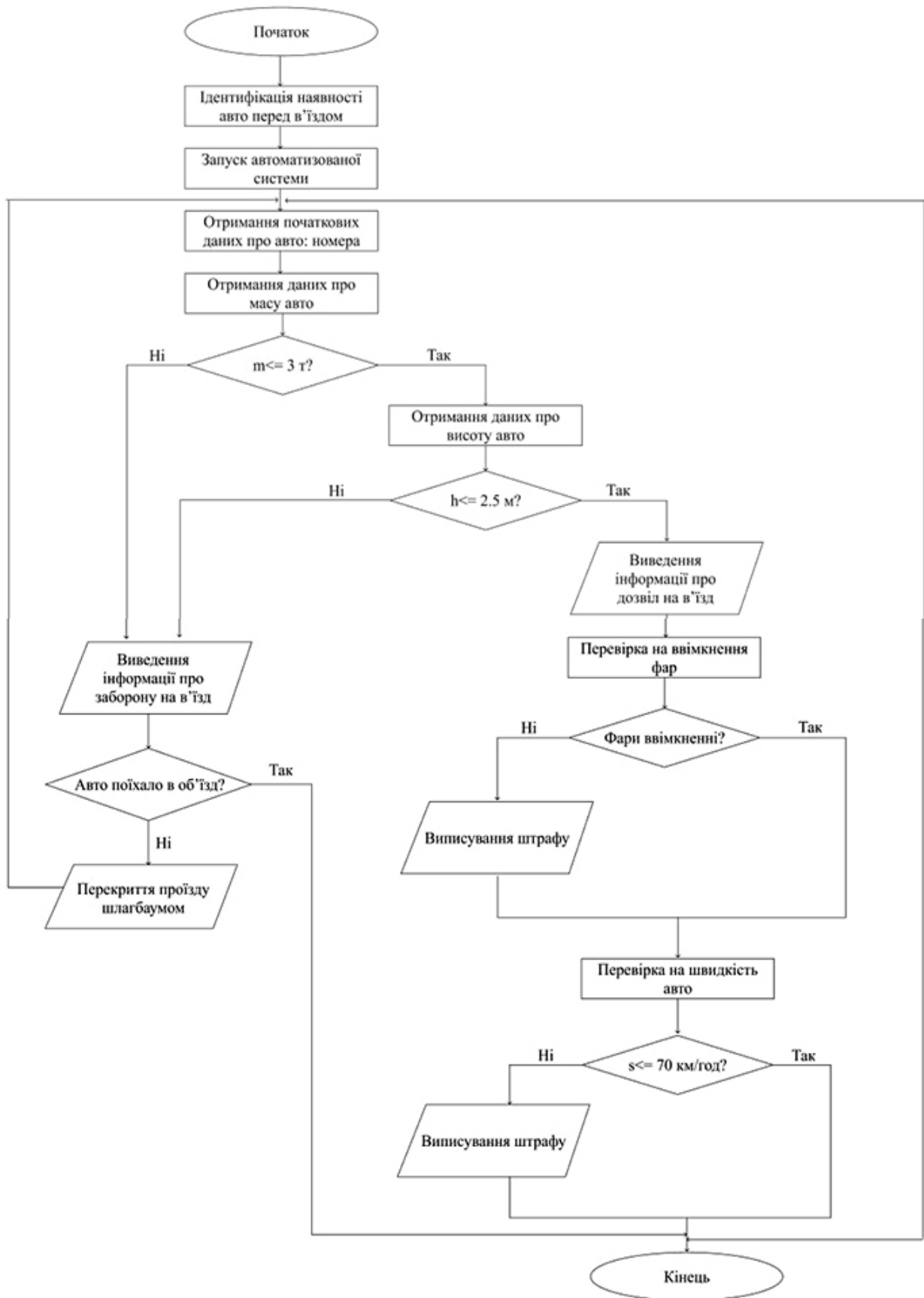


Рисунок 3.1 – Алгоритм функціонування автоматизованої системи контролю за параметрами авто

Алгоритм функціонування автоматизованої системи контролю за параметрами транспорту наступний. Система починає свою роботу з моменту, коли автомобіль потрапляє в зону дії датчиків. Коли система виявляє автомобіль, вона автоматично зчитує його номерний знак за допомогою камер, які використовують технологію розпізнавання номерів. Цей процес дозволяє ідентифікувати транспортний засіб і зв'язати його з базами даних для подальшого аналізу.

Після того як номер автомобіля був розпізнаний, система переходить до збору даних про масу та висоту транспортного засобу. Якщо хоча б один з параметрів перевищує норму, а саме 3 тонни та 2,5 метри, то система виводить інформацію про заборону на в'їзд. У випадку, якщо автомобіль не відповідає встановленим параметрам для проїзду через тунель і, незважаючи на це, продовжує рух у напрямку тунелю, система подає сигнал на опускання шлагбауму. Це запобігає можливості несанкційованого проїзду і захищає тунель від можливих пошкоджень, спричинених проїздом невідповідного транспортного засобу. Це критично важливо для запобігання пошкодженню інфраструктури та аварійних ситуацій. Якщо ж параметри відповідають нормам, система надає дозвіл на продовження руху до тунелю.

У середині тунелю система продовжує контролювати безпеку руху. Одним з таких контрольних етапів є перевірка стану фар. Це особливо важливо в тунелях, де рівень освітлення може бути недостатнім для забезпечення нормальної видимості. Якщо фари вимкнені, камера, яка встановлена в тунелі фіксує це порушення і передає дані про автомобіль оператору.

Наступний крок – перевірка швидкості руху. У тунелях часто встановлені обмеження швидкості для забезпечення безпеки всіх учасників руху. Якщо швидкість перевищує встановлену межу в 70 км/год, пристрій заміру швидкості передає дані про авто оператору. Після виконання всіх перевірок – маси, висоти, стану фар і швидкості – алгоритм завершує свою роботу. Система повертається

в режим очікування, готова до обробки параметрів наступного транспортного засобу.

На рисунку 3.2 зображено алгоритм роботи підсистеми керування вентиляційною системою тунелю із давачами визначення вмісту CO та NO₂ для моніторингу викидів та регулювання їх вмісту у повітрі тунелю. Ця підсистема постійно відстежує концентрацію шкідливих газів, таких як чадний газ (CO) та діоксид азоту (NO₂), що можуть загрожувати здоров'ю людей.

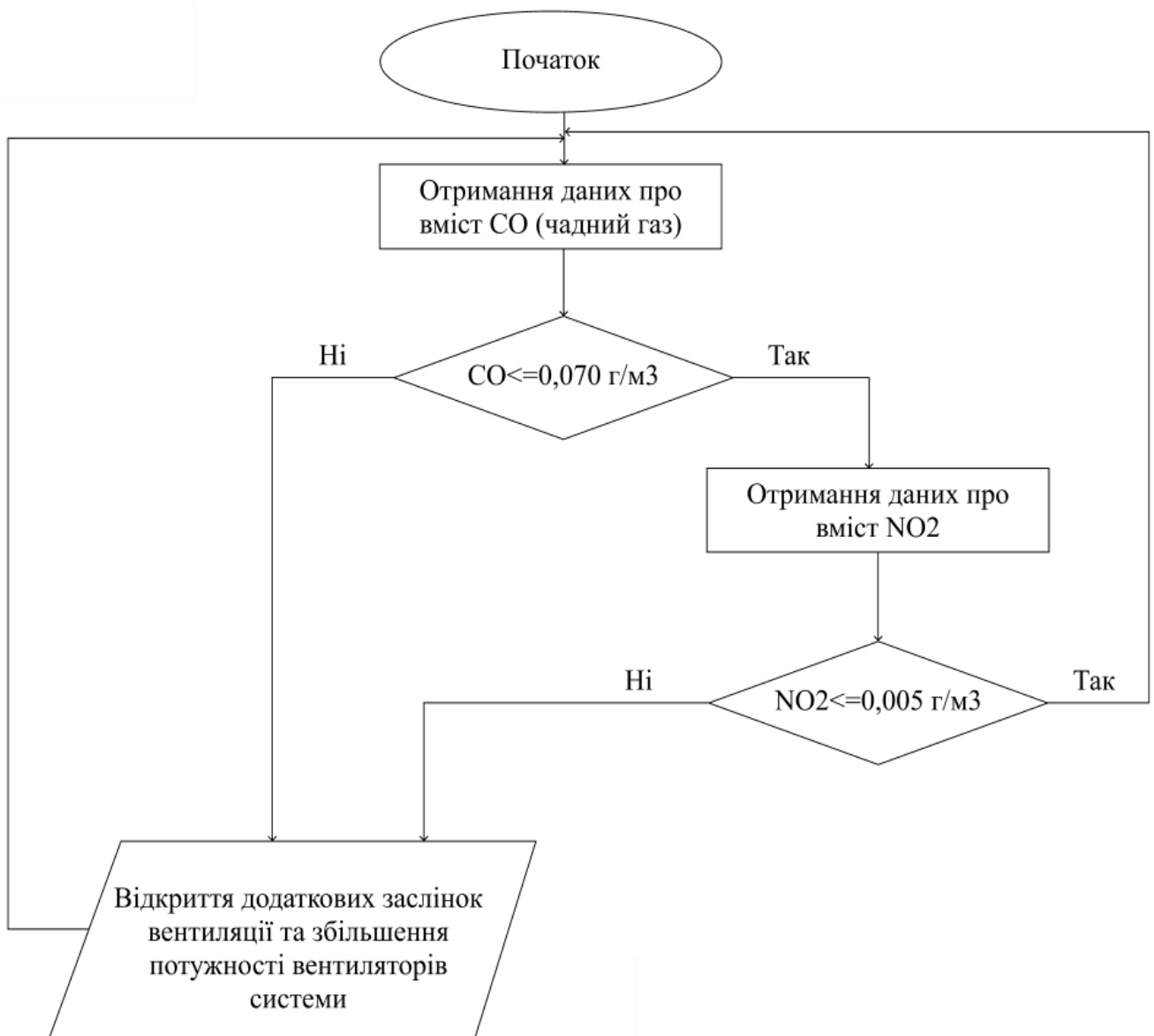


Рисунок 3.2 – Алгоритм функціонування автоматизованої системи контролю за викидами в тунелі

Алгоритм починає свою роботу з постійного отримання даних про рівень чадного газу (CO) у повітрі. Він здійснює вимірювання концентрації CO, і якщо показник не перевищує гранично допустиму норму у $0,070 \text{ г/м}^3$, система продовжує працювати в стандартному режимі. На цьому етапі алгоритм переходить до наступного кроку — перевірки рівня діоксиду азоту (NO₂). Якщо рівень NO₂ також не виходить за межі допустимого значення ($\leq 0,005 \text{ г/м}^3$), система продовжує безперервний моніторинг повітря без будь-яких корегувальних дій.

Проте, у випадку, якщо концентрація чадного газу перевищує $0,070 \text{ г/м}^3$ або рівень діоксиду азоту перевищує $0,005 \text{ г/м}^3$, система негайно реагує. Вона подає сигнал на додаткові вентиляційні заслінки для відкриття, що дозволяє збільшити приплив свіжого повітря, а також на підвищення потужності вентиляторів для прискореного очищення повітря. Це забезпечує ефективне зниження рівня шкідливих газів до безпечних меж, після чого система поступово знижує інтенсивність вентиляції і повертається в режим моніторингу для подальшого контролю повітряного середовища. [4]

На рисунку 3.3 показано програмний код керування системою автоматизованого контролю. На етапі в'їзду до тунелю система здійснює контроль висоти та ваги автомобіля за допомогою датчиків I1 та I2, які з'єднані з блоком порівняння V004. Цей блок аналізує отримані дані, перевіряючи відповідність висоти і маси заданим межах. У разі виявлення перевищення одного з параметрів активується вихід Q1, який передає сигнал на закриття шлагбауму для обмеження доступу до тунелю. Q10 активується для сповіщення оператора про заборону на в'їзд за висотою транспорту, Q11 – про заборону на в'їзд за вагою транспорту.[33]

Після в'їзду автомобіля в тунель система продовжує моніторинг його поведінки. Датчики I3, I4, що відстежують швидкість руху та роботу фар, передаючи дані до блоку порівняння V001. У разі виявлення порушень, таких як перевищення допустимої швидкості або вимкнені фари, активується вихід

Q2. Це сповіщає оператора системи про необхідність детальної перевірки ситуації. Оператора сповіщають про це сигнальні лампи Q12 та Q13, і на основі отриманих сигналів може застосувати санкції, у вигляді штрафу за порушення правил безпеки.

Одним із ключових елементів системи є контроль концентрації токсичних газів, таких як чадний газ (CO) та діоксид азоту (NO₂). Датчики I9 та I11, які безперервно вимірюють рівень цих речовин у повітрі тунелю, підключені до блоку V041. Якщо концентрація газів перевищує допустимі норми, активується вихід Q8. Це автоматично запускає систему вентиляції на підвищену потужність для очищення повітря. Після нормалізації рівня газів система повертається до стандартного режиму роботи.

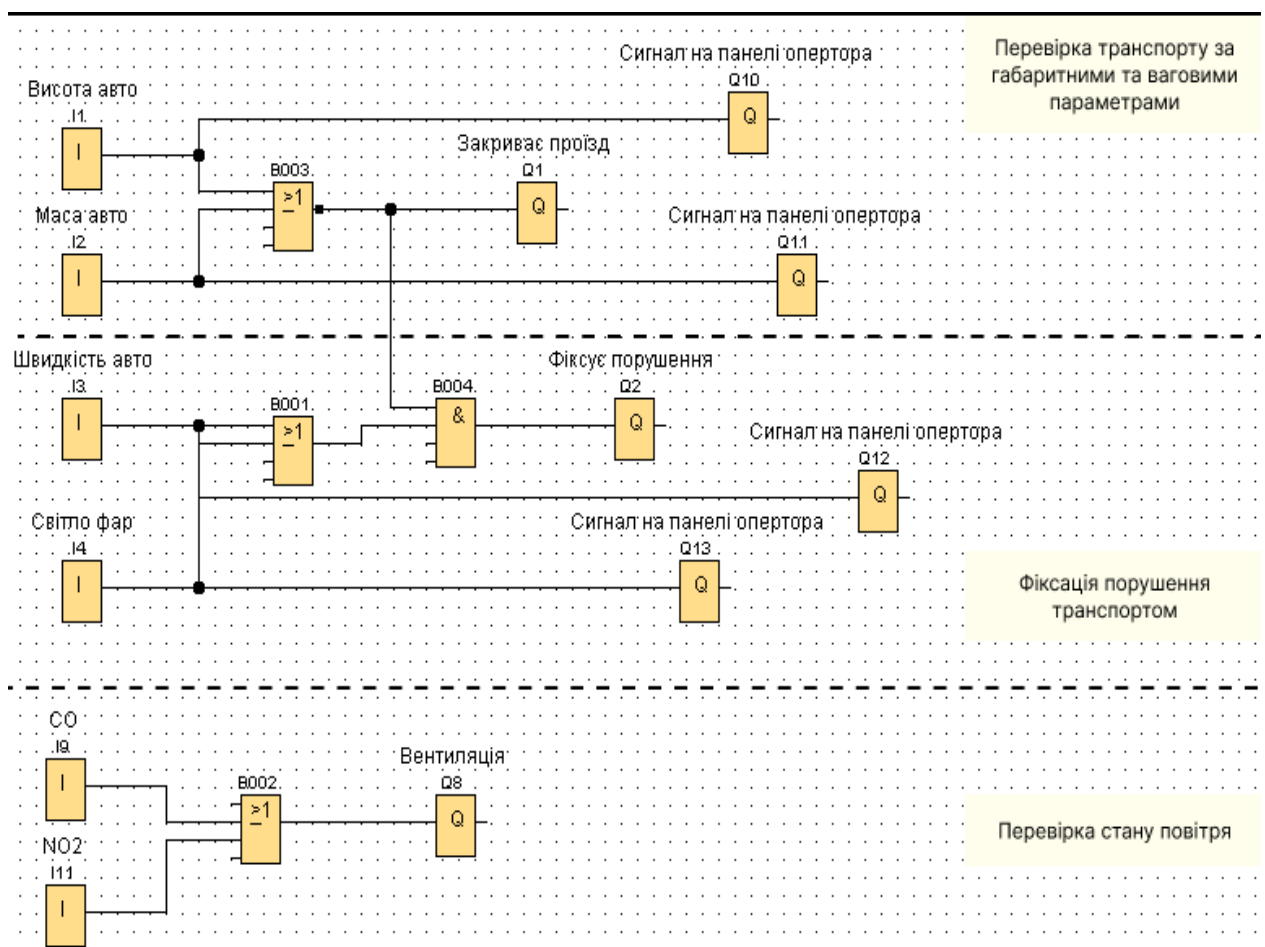


Рисунок 3.3 – Програмний код керування автоматизованою системою

У програмному кодї використано наступні вхідні дані:

I1 – сигнал з датчика вагового терміналу;

I2 – сигнал з датчика заміру висоти;

I3 – сигнал з датчика фіксування швидкості;

I4 – сигнал з датчика фіксування освітлення фар;

I9 – сигнал з датчика викидів CO;

I11 – сигнал з датчика NO₂;

У програмному кодї використано наступні вихідні дані:

Q1 – сигнал, що задає дозвіл на проїзд;

Q2 – сигнал, що створює повідомлення оператору про фіксацію порушення;

Q8 – сигнал, що керує потужністю вентиляційної системи;

Q10 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи, яка сповіщає оператора про заборону на в'їзд за висотою транспорту.

Q11 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи, яка сповіщає оператора про заборону на в'їзд за вагою транспорту.

Q12 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи, яка сповіщає оператора порушення швидкості транспорту.

Q13 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи, яка сповіщає оператора порушення роботу фар транспорту

Для забезпечення безперебійної роботи системи контролю на кожному з етапів було запропоновано додаткові заходи підвищення функціональної безпеки. Одним із таких рішень стало впровадження резервування датчиків, відоме як дублювання. Це дозволяє уникнути збоїв у випадку відмови одного з датчиків, забезпечуючи надійність контролю на кожному етапі перевірки.

На рисунку 3.4 представлено алгоритм роботи системи керування за архітектурою резервування 1oo2. Алгоритм розпочинається з перевірки кількості активних датчиків та їх стану. У разі надходження даних від обох датчиків система аналізує їх на наявність несправностей. Якщо жодних

несправностей не виявлено, отримані дані записуються на сервер для подальшого використання, а система продовжує роботу.[27-32]

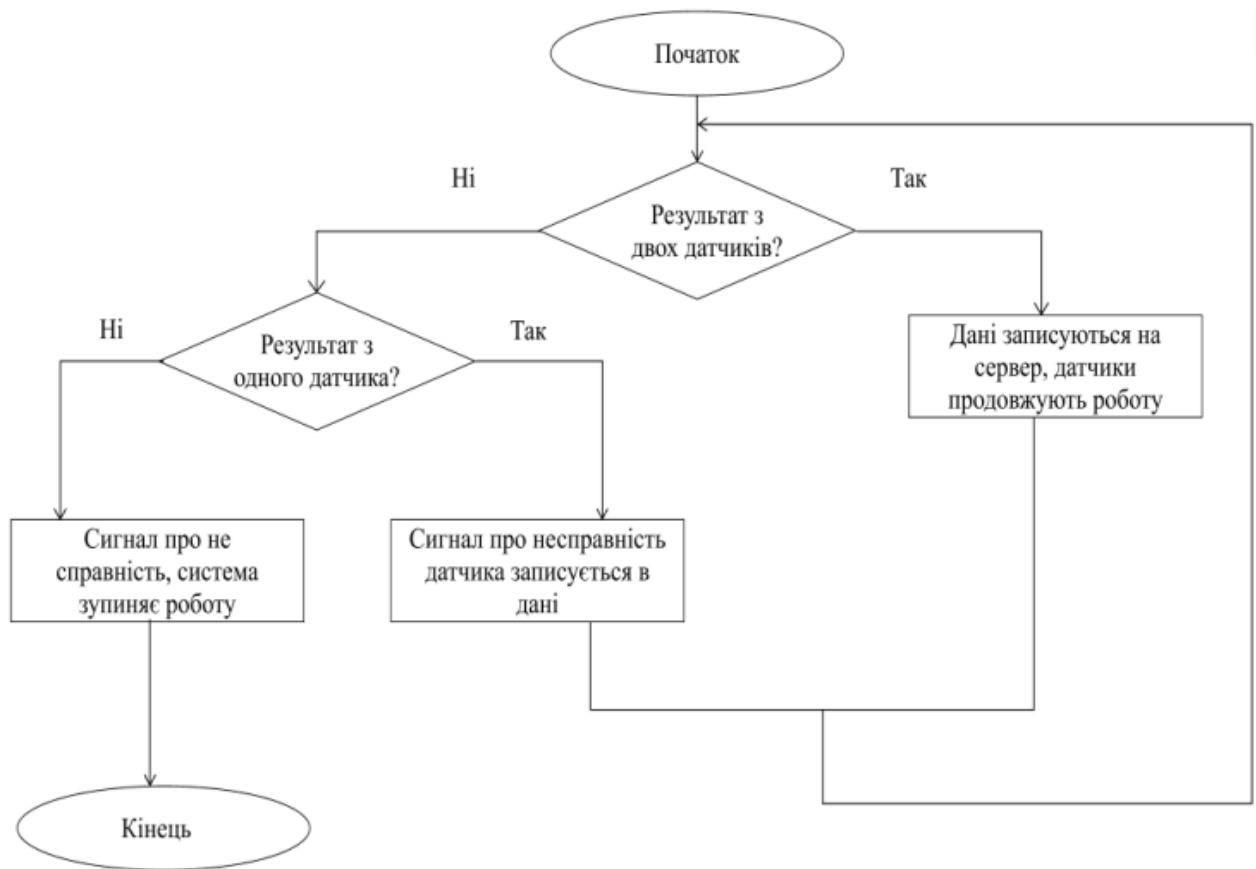


Рисунок 3.4 – Алгоритм роботи системи керування за архітектурою резервування 1oo2

Якщо сигнал від обох датчиків відсутній, система виконує додаткову перевірку, щоб з'ясувати, чи працює хоча б один із датчиків. У ситуації, коли один із датчиків подає сигнал про свою несправність, ця інформація фіксується в системних даних для подальшого аналізу та усунення проблеми. Проте, навіть у цьому випадку система не зупиняє свою роботу й продовжує функціонувати з використанням даних від справного датчика.

У разі виявлення несправностей обох датчиків або повної відсутності сигналу від них, система визначає цю ситуацію як критичну. Щоб уникнути можливих помилок або аварій, алгоритм негайно зупиняє роботу системи,

У програмному кодї зарезервовано наступні вхідні дані:

I5 – сигнал з резервованого датчика вагового терміналу;

I6 – сигнал з резервованого датчика заміру висоти;

I7 – сигнал з резервованого датчика фіксування швидкості;

I8 – сигнал з резервованого датчика фіксування освітлення фар;

I10 – сигнал з резервованого датчика фіксування викидів CO;

I12 – сигнал з резервованого датчика фіксування NO₂;

У програмному кодї використано наступні вихідні дані:

Q3 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 1, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків вагів;

Q4 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 2, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків заміру висоти;

Q5 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 3, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків фіксації швидкості,

Q6 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 4, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків фіксації роботи фар.

Q7 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 5, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків фіксації викидів CO.

Q9 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 6, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків фіксації NO₂.

Код забезпечує роботу автоматизованої системи управління з високою функціональною безпекою, що контролює проїзд автомобілів через тунель і моніторить ключові параметри транспортних засобів та навколишнього середовища, щоб запобігти аваріям і надзвичайним ситуаціям.

Так як система має велику кількість датчиків і вихід з ладу одного з них може спричинити аварійну ситуацію. Тому для підвищення функціональної безпеки вводять додаткові датчики I5, I6, I7, I8, I10 та I12. На прикладі датчика висоти логіка роботи системи з врахуванням сигналу з резервованого датчика наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Таблиця істинності для прийняття рішення про спрацювання датчика висоти

I1	I5	Q3
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Відповідно до даних таблиці 3.1, можна зробити висновок про функціонування системи. Якщо значення на входах I1 та I5 однакові, то на виході логічного елемента OR буде встановлено логічний «0», якщо I1 та I5 дорівнюють «0», або логічну «1», якщо I1 та I5 дорівнюють «1». У випадку, коли значення на виходах датчиків різні, тобто один вихід показує логічну «1», а інший – логічний «0», це свідчить про можливу несправність одного з датчиків. Проте робота автоматизованої системи керування водопостачанням продовжується, і оператор отримує повідомлення про несправність. Для забезпечення контролю та діагностики стану датчиків до програмного коду слід додати відповідний функціональний блок. Частина програмного коду, реалізована з використанням UDF у LOGO! Soft Comfort, наведена на рисунку 3.6.

Таблиця 3.2 – Таблиця істинності для прийняття рішення про справність датчика висоти

I1	I5	Q3
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

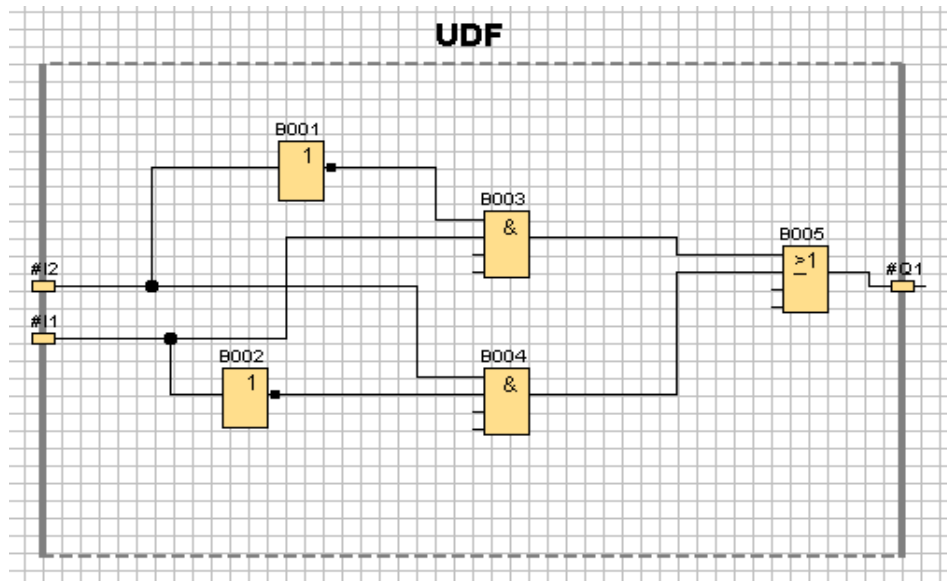


Рисунок 3.6 –Програмний код функціонального блоку діагностики справності резервованих датчиків

З даних таблиці 3.2 можна сказати, що сигнал логічної «1» на виході цього блоку з'являється тоді і тільки тоді, коли значення на виходах резервних датчиків висоти відрізняються. Пропонується можливість використання світлового сигналу для оповіщення оператора про несправність одного з датчиків. При отриманні сигналу оператор приймає рішення про заміну вийшов з ладу датчика. За таким же принципом виконується резервування інших датчиків.[33-40]

Аналогічним чином резервуються інші датчики.

3.2 Обґрунтування технічних засобів системи керування руху автомобілів в тунелі

Для реалізації автоматизованої системи керування було обрано сучасний логічний модуль відомого виробника Siemens, який забезпечує високу надійність, гнучкість у налаштуванні та широкий функціонал. Модулі цієї серії здатні ефективно інтегруватися з іншими компонентами системи, що дозволяє

створити комплексне рішення для управління транспортною інфраструктурою. Цей модуль, зображений на рисунку 3.7, є ключовим елементом у структурі системи, оскільки він виконує основні функції обробки даних, управління підсистемами та забезпечення безперервного моніторингу стану всіх елементів. Завдяки високопродуктивним процесорам та спеціалізованому програмному забезпеченню, модуль здатний обробляти великі обсяги даних у реальному часі, приймати рішення на основі вхідної інформації та коригувати роботу підсистем.



Рисунок 3.7– Логічний модуль LOGO 8 Basic 24RCE

Логічний модуль Siemens LOGO! 8 Basic 24RCE має ряд переваг, які роблять його привабливим вибором для автоматизації невеликих систем. Однією з головних переваг є вбудований веб-сервер та Ethernet-інтерфейс, дозволяють здійснювати віддалений моніторинг і налаштування, що забезпечує зручність контролю процесів без необхідності фізичного доступу до пристрою. Модуль має компактні розміри та монтується на стандартну DIN-рейку, що дозволяє економити простір у щитах автоматизації. Завдяки релейним виходам пристрій може керувати різноманітними навантаженнями, такими як освітлення, вентиляція та насоси, що робить його універсальним для

вирішення різних автоматизаційних завдань, таких як: керування технологічними пристроями, системами вентиляції, керуванням освітленням, системами керування дорожнього руху, тощо.[17]

Водночас модуль LOGO! 8 Basic 24RCE має і певні обмеження. Наприклад, кількість входів і виходів (8 цифрових входів і 4 релейних виходи) може бути недостатньою для складних завдань, де потрібно більше підключень. Проте модуль підтримує можливість додавання додаткових блоків, що дозволяє розширити систему, додаючи нові входи і виходи.

Для забезпечення наявності додаткових дискретних входів та виходів був обраний дискретний модуль розширення 6ED1055-1CB00-0BA2 LOGO! DM8 24, який показаний на рисунку 3.8, що використовується для вводу та виведення дискретних сигналів.

Основними технічними характеристиками даного модуля є

- 4 входів;
- 4 виходів;
- напруга 24 В;
- допустимий діапазон напруги: від 20.4 В до 28.8 В
- вихідний струм для сигналу "1", 0,3 А.

Перед в'їздом у тунель встановлюються спеціалізовані датчики, призначені для визначення маси та висоти транспортних засобів. Ці датчики дозволяють ідентифікувати параметри кожного транспортного засобу, забезпечуючи безпечний рух у тунелі. Система зчитування маси допомагає виявити перевантажені автомобілі, які можуть створювати додаткове навантаження на конструкцію тунелю, а датчики висоти дозволяють уникнути аварій, запобігаючи в'їзду транспортних засобів, що перевищують допустимі габаритні обмеження.[18]



Рисунок 3.8 – Дискретний модуль розширення 6ED1055-1CB00-0BA2 LOGO!
DM8 24

Вагові датчики серії SIWAREX WL280 RN-S SA на рисунку 3.9 призначені для роботи з номінальним навантаженням від 0.06 до 60 тонн, з допустимим бічним відхиленням до ± 10 мм, що забезпечує високу точність вимірювання навіть за значних навантажень. Вони функціонують у широкому діапазоні температур: від -35°C до $+70^{\circ}\text{C}$ в робочому режимі та від -50°C до $+90^{\circ}\text{C}$ у режимі зберігання. Корпус виготовлений з нержавіючої сталі відповідно до стандарту EN 1.4542, що забезпечує захист від корозії та міцність у суворих умовах. Клас захисту IP66/68 гарантує надійність у вологих і запилених середовищах. Датчики сертифіковані для використання у вибухонебезпечних зонах за стандартами ATEX/IECEx, що робить їх безпечними для застосування у промислових зонах з підвищеним ризиком. Опір виходу залежить від моделі й коливається в межах 930–1175 Ом, що сприяє стабільній роботі в різних умовах експлуатації.[19]



Рисунок 3.9 – Ваговий датчик SIWAREX WL280 RN-S SA

Фотоелектричний датчик моделі QS186EQ5 на рисунку 3.10 є опозитним датчиком, що складається з приймача і передавача, які розташовані один навпроти одного для точного виявлення об'єктів, що переривають світловий промінь. Працюючи в режимі передавача, датчик використовує інфрачервоний випромінювач із довжиною хвилі 940 нм, що забезпечує його стабільну роботу на відстанях до 20,000 мм. Електричні параметри передбачають робочу напругу від 10 до 30 В і номінальний робочий струм до 100 мА, а також захист від короткого замикання та зворотної полярності, що підвищує надійність та довговічність пристрою. Затримка готовності до роботи становить не більше 100 мс, що дозволяє використовувати його в умовах, де потрібне швидке реагування. [20]

З метою забезпечення безпеки та комфорту руху в тунелі передбачено комплексне рішення, яке включає встановлення датчиків викидів NO_2 та CO для контролю за якістю повітря, пристроїв вимірювання швидкості для забезпечення безпеки руху та камер відеоспостереження для фіксації порушень правил дорожнього руху та ідентифікації транспортних засобів. Таке обладнання дозволяє не тільки підвищити рівень безпеки, але й оптимізувати транспортні потоки та збирати статистичні дані для подальшого аналізу. [21]



Рисунок 3.10 – Фотоелектричний датчик моделі QS186EQ5

Пристрій заміру швидкості AVS-104, який зображено на рисунку 3.11 проектує чотири лазерні промені на дорогу, що забезпечує ширше охоплення та високу точність вимірювання швидкості. Принцип роботи пристрою показано на рисунку 3.12 і полягає він у визначенні різниці часу та відстані між першим і другим променями, що дозволяє отримати найточніші результати вимірювання швидкості. [22]

Детальні характеристики:

- діапазон швидкостей: 10~250 км/год
- точність вимірювання швидкості: ± 2 км/год
- діапазон вимірювання: 20~25 м
- напрямок вимірювання: наближення, віддалення
- структура променів: 4 промені (2,2)
- розбіжність променя: 25 мрад кожен
- довжина хвилі лазера: 905 нм



Рисунок 3.11– Пристрій заміру швидкості AVS-104

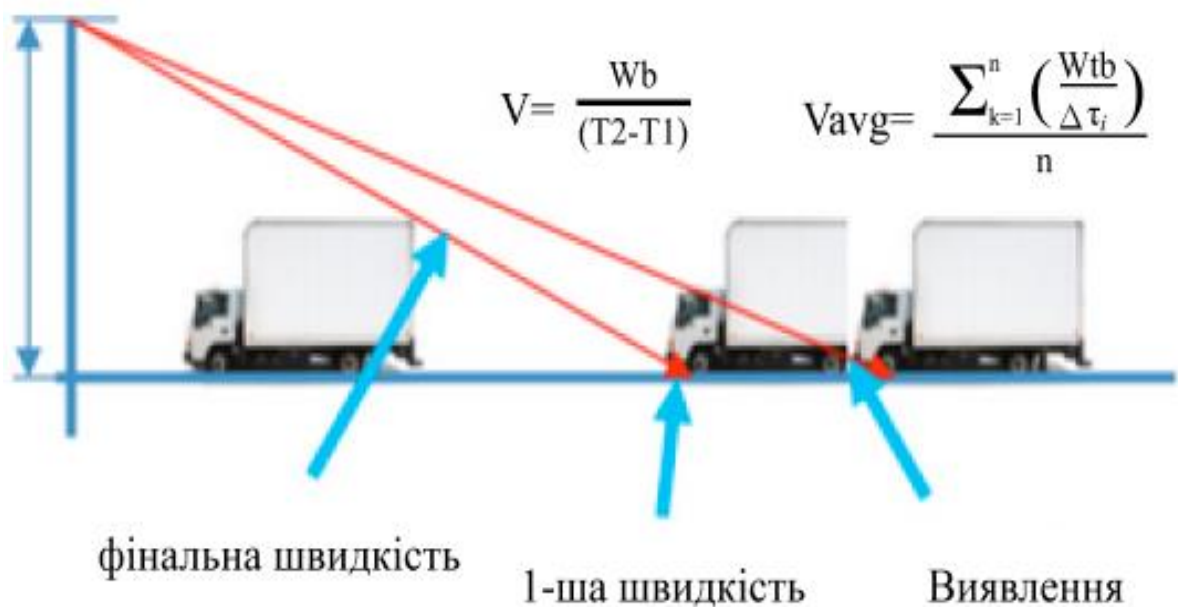


Рисунок 3.12– Принцип роботи пристрою

Датчики дрібного пилу, зображені на рисунку 3.13, призначені для точного вимірювання концентрації частинок PM2.5 та PM10 у чадному газі, що є важливим для моніторингу якості повітря в різних умовах. Пристрій оснащений двома аналоговими виходами (0-10 В) для кожного типу частинок і підтримує підключення до мережі через протокол Modbus RTU, що дозволяє

легко інтегрувати його в існуючі системи автоматизації. Датчики моделі QSA2700D мають вбудований екран для відображення концентрацій PM2.5, PM10 та індексу якості повітря (AQI), що дозволяє оперативно отримувати інформацію про стан повітря.[23]

Діапазон вимірювання можна вибрати серед 0-50, 0-100, 0-300 або 0-500 мкг/м³, що дозволяє налаштувати датчик під різні умови експлуатації. Точність вимірювань становить ± 15 мкг/м³ або $\pm 15\%$ при температурі 25°C і вологості 50%. Датчики працюють при температурі від 0°C до 50°C і вологості від 5% до 95% (без конденсації), що робить їх універсальними для використання в різних кліматичних умовах. Захист IP30 (NEMA 1) забезпечує достатній рівень захисту від пилу, що робить ці датчики надійними в промислових та інших важких умовах.[24]



Рисунок 3.13– Датчик Siemens моделі QSA2700D

Сенсор NO₂-B43F, зображений на рисунку 3.14, призначений для вимірювання концентрації діоксиду азоту (NO₂) у повітрі, що є важливим для контролю забруднення та забезпечення екологічної безпеки. Він має чутливість від -175 до -450 нА/ppm при концентрації 2 ppm NO₂, що дозволяє отримувати точні дані навіть при низьких рівнях газу. Швидкість відгуку сенсора складає

менше 60 секунд, що дає змогу оперативно реагувати на зміни в концентрації. Нульовий струм сенсора варіюється від -50 до +70 нА при температурі 20°C, що є стандартним для таких пристроїв. Діапазон вимірювання до 20 ppm NO₂ забезпечує можливість використання в різних умовах, від моніторингу навколишнього середовища до промислових застосувань. Термін служби сенсора перевищує 24 місяці, після чого зменшення вихідного сигналу складає 50%. [25]

Сенсор може працювати при температурі від -30°C до +40°C, що робить його придатним для використання в різних кліматичних умовах. Діапазон атмосферного тиску, при якому пристрій функціонує, становить від 80 до 120 кПа, а відносна вологість може бути в межах 15–85%. Для стабільної роботи в умовах наявності озону сенсор оснащений спеціальним фільтром, який має ресурс понад 500 ppm-годин при 2 ppm О₃. Це гарантує точність вимірювань та стабільність роботи навіть в забруднених або екстремальних умовах, що робить сенсор NO₂-B43F надійним інструментом для контролю якості повітря в різноманітних сферах.



Рисунок 3.14– Датчик Alphasense моделі NO₂-B43F

Камера AXIS M1135-E Mk II, зображена на рисунку 3.15, забезпечує надійне відеоспостереження в автоматизованих системах, пропонуючи високу роздільну здатність 2 МП (1920x1080) для чітких і детальних зображень. Технології Axis Forensic WDR та Lightfinder дозволяють отримувати високоякісне зображення навіть за умов низького освітлення, покращуючи видимість деталей в складних умовах. Варіофокальний об'єктив з фокусною відстанню 3-10,5 мм і кутом огляду від 90° до 33° дозволяє точно налаштувати поле зору для різноманітних задач спостереження, таких як моніторинг великих територій або фокусування на певних об'єктах.[26]



Рисунок 3.15 – Камера AXIS M1135-E Mk II

Камера підтримує стиснення H.264, H.265 та Motion JPEG, що забезпечує ефективне використання мережевих ресурсів і знижує вимоги до зберігання відео з частотою до 30 кадрів/с. Це дозволяє зберігати більше відео без втрати якості. Камера також підтримує різноманітні мережеві протоколи (IPv4, IPv6, HTTPS тощо), що забезпечує її сумісність з різними мережами та системами. Для живлення камера може використовувати PoE або постійний струм 10-28 В (до 7,2 Вт). Її корпус із класами захисту IP66, IK10, NEMA 4X гарантує відмінну стійкість до впливу вологи, пилу, механічних пошкоджень та агресивних умов

навколишнього середовища. Камера здатна працювати в температурному діапазоні від -25°C до 50°C , що забезпечує стабільну роботу навіть в екстремальних умовах.

3.3 Висновки до третього розділу

Розроблена система АСКРТТ є сучасним інструментом для забезпечення безпеки та ефективності дорожнього руху, а також збереження тунельної інфраструктури. Завдяки інтеграції високотехнологічного обладнання та передових алгоритмів, система виконує багаторівневий моніторинг транспортних засобів, зокрема їх ваги, висоти, швидкості, стану фар і рівня викидів шкідливих газів всередині тунелю. Цей комплексний підхід дозволяє не лише контролювати потік транспорту, а й оперативно реагувати на будь-які відхилення від встановлених норм. Наприклад, система автоматично блокує в'їзд у тунель у разі перевищення допустимих параметрів, забезпечуючи безпеку як інших водіїв, так і самої конструкції тунелю.

Система функціонує на базі логічного модуля Siemens LOGO! 8 Basic 24RCE, який забезпечує швидку обробку даних і високу надійність роботи. До складу технічного оснащення входять вагові та фотоелектричні датчики, сенсори контролю рівня викидів, сучасні камери відеоспостереження, а також вентилятори для регулювання якості повітря в тунелі. Всі ці компоненти працюють у синергії, дозволяючи виконувати точну перевірку кожного транспортного засобу на кількох етапах: перед в'їздом у тунель, у процесі руху та після його завершення. Зокрема, контроль ваги обмежений до 3 тонн, висоти – до 2,5 метра, а швидкість транспортного засобу не повинна перевищувати 70 км/год. У разі виявлення порушень система може не лише повідомляти оператора, а й автоматично вживати заходів, таких як закриття шлагбауму чи активація вентиляційної системи.

Особливої уваги заслуговує економічна ефективність АСКРТТ. Завдяки використанню високоякісного, але доступного за ціною обладнання, система

забезпечує швидку окупність і низькі витрати на обслуговування. Її модульна структура дозволяє легко адаптувати систему до нових вимог або модернізувати застарілі компоненти без значних витрат часу й ресурсів. Крім того, у разі несправності окремих елементів їх можна швидко замінити без зупинки роботи всієї системи. Це робить АСКРТТ не лише ефективним, а й гнучким рішенням для обслуговування сучасних тунелів, сприяючи зменшенню аварійності, захисту навколишнього середовища та забезпеченню стабільного транспортного потоку навіть у складних умовах експлуатації.

4 АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ АСКРТТ

Надійність є однією з ключових складових якості технічних систем. Від її рівня залежить економічна ефективність системи, вартість і складність експлуатації, а також успішність впровадження нових рішень. Надійна система забезпечує безперебійність роботи, знижує ризики простоїв і мінімізує витрати на технічне обслуговування та ремонти.

Робота технічних і програмних систем може бути порушена через низку причин. Серед них – помилки у програмному забезпеченні, які можуть бути прихованими або зумовленими недоліками алгоритмів, що проявляються під час роботи; спотворення вхідної інформації, яка надходить для обробки, та некоректні дії користувача, що виникають через помилки оператора або неправильну взаємодію з системою. Крім того, несправності апаратного забезпечення, на якому працює програма, також є вагомим фактором ризику.

Порушення роботи системи може проявлятися у вигляді передчасного завершення виконання програмних процесів, неприйнятно тривалого виконання окремих команд, втрати або суттєвого спотворення накопичених даних, порушення послідовності виклику програм, що спричиняє пропуски необхідних етапів, або спотворення окремих елементів даних (вхідних, вихідних чи проміжних) через невірну вхідну інформацію.

Надійність системи визначається низкою важливих характеристик. Серед них – безвідмовність, тобто здатність системи працювати без перерв і збоїв протягом певного часу; Стійкість програмного забезпечення; Відновлюваність, яка визначається витратами часу та зусиль на усунення відмов. Для підвищення відновлюваності доцільно передбачити в ПЗ засоби діагностики, контрольні точки для рестарту та автоматизацію відновлення. Реалізація таких функцій здійснюється через надлишковість, яка може бути програмною (альтернативні варіанти ПЗ), інформаційною (дублювання критичних даних) і часовою (резерви для діагностики й відновлення); Захищеність визначає ймовірність

спотворення роботи через стороннє втручання і довговічність характеризує здатність ПЗ уникати морального старіння протягом тривалого використання.

4.1 Побудова блок-схеми надійності

У роботі використано блок-схеми надійності (БСН) – це метод зображення системи, її підсистем та компонентів у вигляді блоків, який дозволяє оцінювати частоту відмов, принципи функціонування та стратегії обслуговування проілюстровано на рисунку 4.1. Це дає змогу кількісно визначити, як ці фактори впливають на загальну продуктивність АСКРТТ.

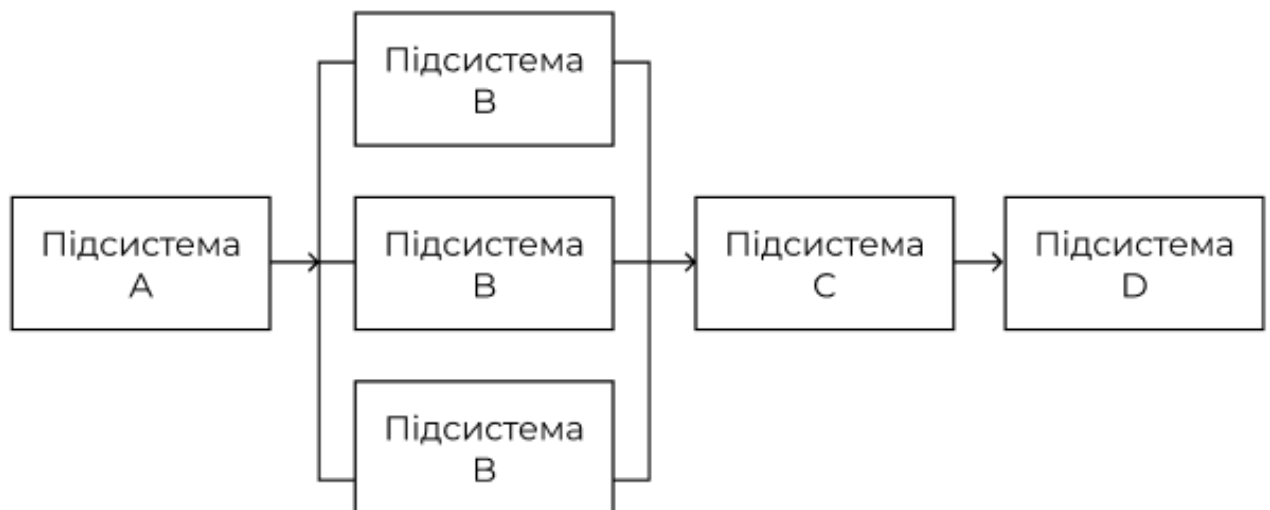


Рисунок 4.1 – Блок-схема надійності

Основним результатом використання БСН є прогнозування рівня продуктивності системи, її підсистем та окремих елементів протягом визначеного періоду за певних умов експлуатації.[34]

Другорядний результат полягає у визначенні кількісних показників, які вказують на найбільш ризиковані елементи системи. Це дозволяє зрозуміти, які ділянки, ймовірно, створюватимуть найбільші проблеми, а також ідентифікувати елементи, що спричиняють ці труднощі. Аналіз показує, як

часто й наскільки серйозно кожен компонент впливає на загальну роботу системи, порівняно з іншими елементами.

Однією з ключових переваг БСН є здатність оцінювати вплив різних змін на систему. Це включає аналіз сценаріїв протягом усього життєвого циклу системи, щоб оцінити ефективність модифікацій для покращення роботи. Наприклад, можна проаналізувати зміну стратегій технічного обслуговування, коригування інтервалів обслуговування, рівень резервних ресурсів, зміни в експлуатації обладнання чи управлінні активами (наприклад, оренда або покупка спеціалізованого обладнання). Такий підхід дозволяє порівнювати різні сценарії з базовим станом системи та обирати оптимальні зміни.

БСН також дала змогу візуалізувати складну систему, спрощуючи її до більш зрозумілих сегментів. Це полегшило аналіз зв'язків між підсистемами, виявлення залежностей і пояснення роботи системи.

Під час розробки системи автоматизації контролю за рухом авто через тунель можуть виникати розбіжності у вихідних даних. Наприклад, автомобілі можуть мати суперечливі реєстраційні номери або бути зареєстрованими лише в окремих базах даних. Створення такої системи дозволяє виявляти подібні невідповідності, оцінювати ризики, пов'язані з управлінням технічним обслуговуванням, та забезпечувати наявність усіх необхідних компонентів для стабільної роботи.

Не всі елементи системи однаково важливі для її функціонування. Деякі збої можуть залишитися непоміченими, тоді як інші можуть викликати серйозні перебої або навіть повну зупинку роботи тунелю. Розробка системи допомагає формалізувати ці особливості, оцінити можливі обхідні рішення, їхній вплив на ризики та забезпечення безпеки руху.

Таким чином, БСН є потужним інструментом для управління складними системами, що дозволяє оптимізувати їхню роботу, мінімізувати ризики та ефективно планувати ресурси.

4.2 Розрахунок надійності АСКРТТ

Із використанням методу декомпозиції на прикладі контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту проведена оцінка надійності його відмовостійкості. Контур підсистеми складається із датчика ваги, ліній зв'язку, логічного модуля та виконавчого пристрою. На рисунку 4.2 наведено структурно-функціональну схему контуру.[35-41]

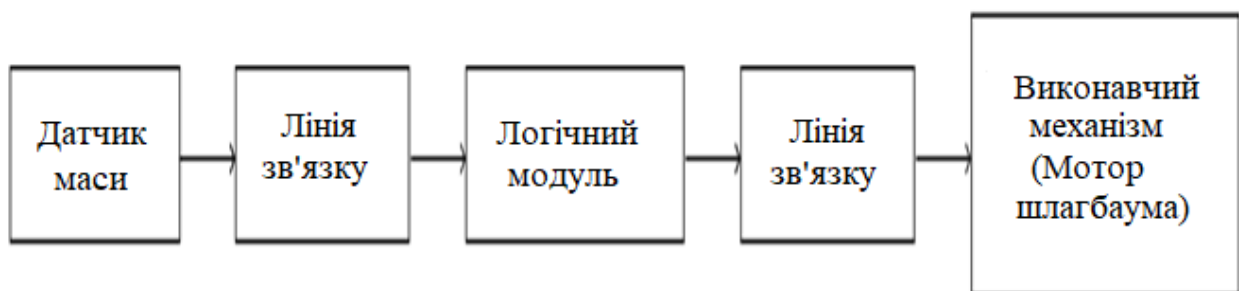


Рисунок 4.2 – Структурно-функціональна схема контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту

За допомогою формули (4.1) здійснено оцінку ймовірності безвідмовної роботи елементів контуру:

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

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

Для розрахунку надійності АСКРТТ використано метод оцінки надійності окремих елементів системи оскільки він є широко поширеним підходом. Припущення про сталість $\lambda = \text{const}$ є доцільним лише для «стаціонарного» періоду роботи об'єкта (t1, t2). На початковому (0, t1) та

заключному ($t > t_2$) етапах експлуатації інтенсивність відмов суттєво змінюється з часом. Даний графік наведено на рисунку 4.3.

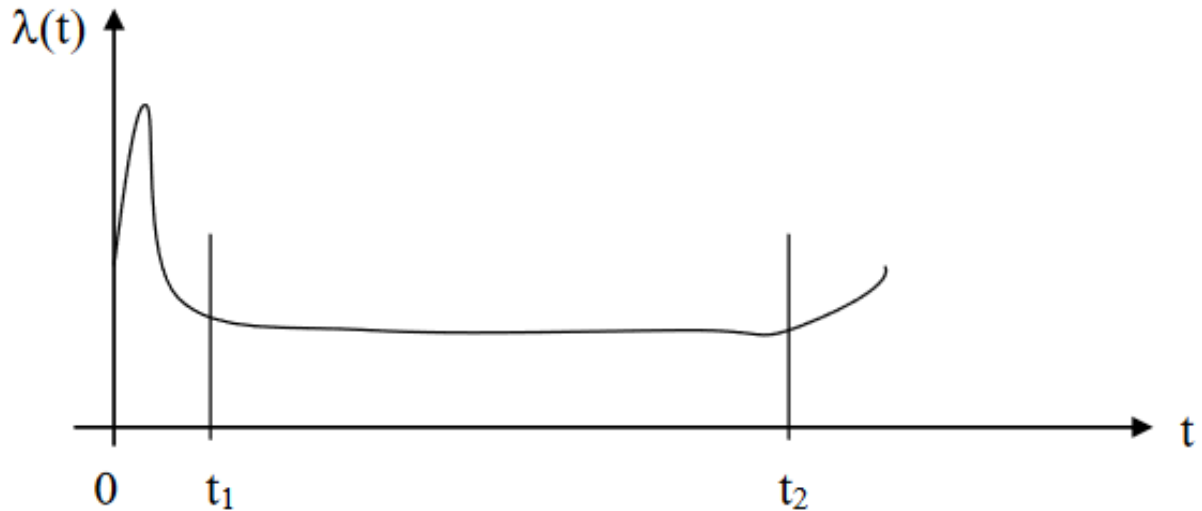


Рисунок 4.3 – Графік залежності інтенсивності відмов від часу

Перший період – період приробітку. Цей етап супроводжується підвищеною інтенсивністю відмов, викликаною виходом з ладу виробів із прихованими дефектами, які не вдалося виявити на етапі виробництва. Тривалість цього періоду становить незначну частину часу нормальної експлуатації виробу. Він завершується, коли інтенсивність відмов знижується до λ_{\min} . Причинами відмов у цьому періоді можуть бути помилки в конструкції, технології виготовлення або в умовах експлуатації.

Другий період – період стабільної роботи. У цей час інтенсивність відмов є мінімальною і залишається стабільною. Чим якісніша конструкція, краще виготовлення та точніше дотримані режими експлуатації, тим меншим буде значення λ_{\min} і тривалішим період нормальної роботи. Загалом, цей етап може тривати десятки тисяч годин.[42-47]

Третій період – період зносу та старіння. Для цього етапу характерне значне зростання інтенсивності відмов через зношування та старіння матеріалів.

Період закінчується, а експлуатація виробу припиняється, коли інтенсивність відмов досягає максимально допустимого рівня $\lambda_{доп}$.

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

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

де – $P_k(t)$ ймовірність безвідмовної роботи контуру; P_{DM} – ймовірність безвідмовної роботи датчика ваги; $P_{ЛЗ}$ – ймовірність безвідмовної роботи ліній 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 8760 год. Ймовірність безвідмовної роботи датчика ваги:

$$P_{DM} = e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,9826.$$

Ймовірність безвідмовної роботи логічного модуля:

$$P_{ЛМ} = e^{-2,28 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,9980.$$

Ймовірність безвідмовної роботи лінії зв'язку:

$$P_{ЛЗ} = e^{-9,51 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,9917.$$

Ймовірність безвідмовної роботи виконавчого пристрою:

$$P_{ВП} = e^{-5,7 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,9950.$$

Згідно 4.2 ймовірність безвідмовної роботи контуру становитиме:

$$P_k(8760) = 0,9826 \cdot 0,9917 \cdot 0,9980 \cdot 0,9917 \cdot 0,9950 = 0,9590.$$

Отримане значення є досить низьким, що свідчить про недостатню надійність контуру контролю контролю пропуску авто через тунель за масою. Це значення можливо збільшити при резервуванні елементів контуру.

При резервуванні елементів ймовірність безвідмовної роботи контуру визначається за виразом (4.3):[48-53]

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

де k - кількість повторів елементів при резервуванні.

Проведемо оцінку надійності при резервуванні датчиків ваги та ліній зв'язку. На рисунку 4.4 наведено структурно-функціональну схему контуру контролю потоку машин через тунель за масою та висотою з резервуванням датчиків за архітектурою 1оо2.[67-70]

Архітектура 1оо2 є однією з найпоширеніших конфігурацій резервування в системах управління та контролю. У такій конфігурації використовується два незалежних компоненти і для виконання функції досить, щоб коректно працював хоча б один з них. Це значно підвищує надійність системи, оскільки навіть у разі відмови одного датчика або пристрою другий зможе взяти на себе його функцію. Така архітектура особливо корисна у критичних системах, де відмова одного компонента не повинна призводити до зупинки роботи всієї системи.[53-59]

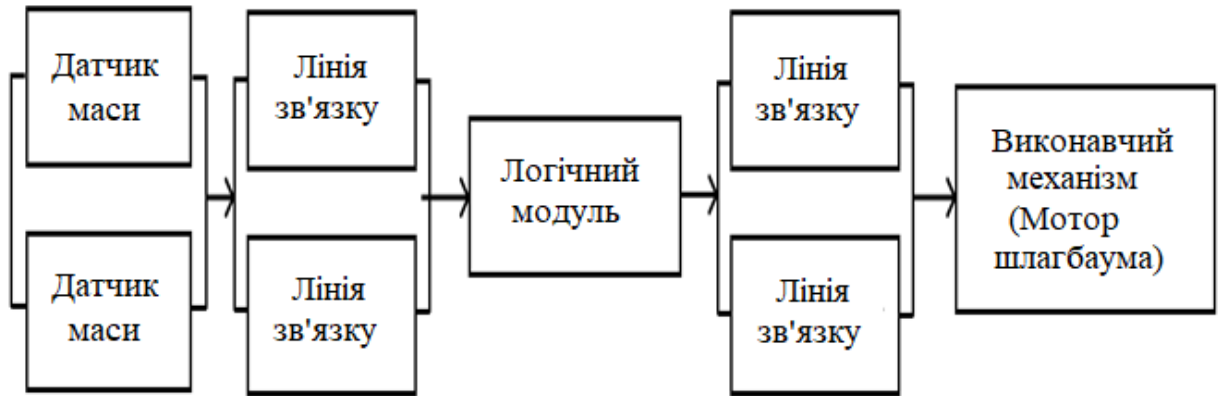


Рисунок 4.4 – Структурно-функціональна схема контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту з резервуванням за архітектурою 1oo2

Згідно (4.3) ймовірність безвідмовності роботи резервованих датчиків ваги та ліній зв'язку становитиме:

$$P_{\text{ДМ,рез}}(8760) = 1 - (1 - 0.9826) \cdot (1 - 0.9826) = 0.9996,$$

$$P_{\text{ЛЗ,рез}}(8760) = 1 - (1 - 0.9917) \cdot (1 - 0.9917) = 0.9999.$$

А ймовірність безвідмовної роботи контуру $P_{\text{к1}}(t)$ при резервуванні датчиків за (4.2) набуде значення:

$$P_{\text{к1}}(8760) = 0,9996 \cdot 0,9999 \cdot 0,9980 \cdot 0,9999 \cdot 0,9950 = 0,9924.$$

При порівнянні $P_{\text{к}}(t)$ та $P_{\text{к1}}(t)$ встановлено, що резервування дало можливість підвищити ймовірність безвідмовної роботи контуру.

Аналогічним чином потрібно провести резервування для інших контурів.

Для порівняння методів підвищення функціональної безпеки, розглянемо архітектуру 2oo3, яка зображена на рисунку 4.5. Ця архітектура є важливим підходом у розробці надійних систем, оскільки вона забезпечує високий рівень

відмовостійкості та стійкості до несправностей. Основна ідея полягає в тому, що для прийняття рішення необхідно, щоб двоє з трьох компонентів або датчиків надали однакові результати. Це дозволяє системі продовжувати функціонувати навіть у випадку відмови одного з елементів, що є критично важливим у ситуаціях, де безпека є пріоритетом. [60-66]

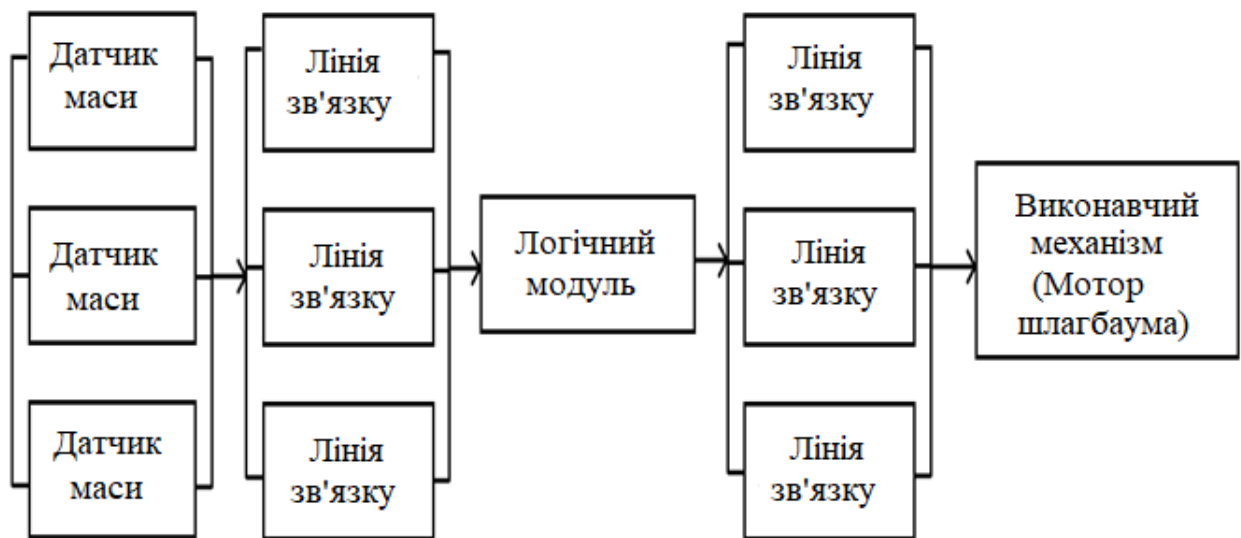


Рисунок 4.5 – Структурно-функціональна схема контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту з резервуванням за архітектурою 2oo3

Згідно (4.3) ймовірність безвідмовності роботи резервованих датчиків ваги та ліній зв'язку становитиме:

$$P_{\text{ДМ,рез}}(8760) = 1 - (1 - 0.9826) \cdot (1 - 0.9826) \cdot (1 - 0.9826) = 0.9999$$

$$P_{\text{ЛЗ,рез}}(8760) = 1 - (1 - 0.9917) \cdot (1 - 0.9917) \cdot (1 - 0.9917) = 0.9999$$

А ймовірність безвідмовної роботи контуру $P_{\text{к1}}(t)$ при резервуванні датчиків за (4.2) набуде значення:

$$P_{\text{к1}}(8760) = 0,9999 \cdot 0,9999 \cdot 0,9980 \cdot 0,9999 \cdot 0,9950 = 0,9927$$

У таблиці 4.1 наведено порівняння контурів для усіх датчиків з резервуванням та без

Таблиця 4.1. – Порівняння контурів для усіх датчиків з резервуванням та без

	Контур визначення			
	Маси транспорту	Висоти транспорту	Вмісту CO	Вмісту NO2
Без резервування	0,9590	0,9747	0,9695	0,9703
З резервуванням (1002)	0,9924	0,9927	0,9999	0,9999
З резервуванням (2003)	0,9927	0,9927	0,9999	0,9999

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про доцільність використання резервування елементів автоматизованої системи керування рухом автомобіля у тунелі, що дозволило підвищити значення ймовірності її безвідмовної роботи.

4.3 Висновки до четвертого розділу

У ході виконання роботи було проведено комплексний аналіз надійності технічних систем із використанням сучасних методів оцінки відмовостійкості та ефективності резервування. Особлива увага була приділена ключовим характеристикам, таким як безвідмовність, стійкість, відновлюваність, захищеність і довговічність, що є основними параметрами для оцінки функціонування будь-якої інженерної системи. Аналіз враховував три основні періоди життєвого циклу системи: етап приробітку, стабільної роботи та зносу. Для кожного з них було визначено фактори, які найбільше впливають на

інтенсивність відмов, зокрема вплив зовнішніх умов, експлуатаційного навантаження та технічного обслуговування. На основі отриманих даних розроблено рекомендації щодо мінімізації ризиків і подовження строку ефективної експлуатації.

Особливо важливим результатом дослідження стало підтвердження впливу резервування елементів на підвищення надійності технічних систем. Було встановлено, що резервування суттєво зменшує ймовірність критичних відмов і забезпечує стабільну роботу системи навіть у несприятливих умовах. На прикладі контуру контролю пропуску транспортних засобів через тунель за масою було проведено порівняльний аналіз ефективності архітектур резервування 1002 та 2003. Архітектура 1002 передбачає використання двох датчиків, з яких обидва повинні видавати однаковий результат для прийняття рішення. Це дозволяє забезпечити ймовірність безвідмовної роботи на рівні 0,9924, що є значним покращенням у порівнянні з базовим рівнем 0,9590. Однак у разі несправності одного з датчиків система втрачає можливість повноцінної роботи, що може обмежити її застосування у критичних ситуаціях.

Архітектура 2003 виявилася ще більш ефективною, демонструючи ймовірність безвідмовної роботи на рівні 0,9927, що на 0,0337 вище за початковий показник. Вона використовує три датчики, з яких для прийняття рішення достатньо двох, що робить систему більш стійкою до відмов окремих компонентів. Навіть у разі виходу з ладу одного з датчиків, система продовжує працювати стабільно, забезпечуючи необхідний рівень контролю. Цей підхід виявився більш гнучким і адаптивним до умов експлуатації, особливо у випадках, коли надійність є критичним фактором.

Таким чином, результати дослідження підтверджують переваги використання резервування для підвищення надійності технічних систем. Обидві архітектури – 1002 і 2003 – демонструють суттєве зростання показників безвідмовної роботи, але архітектура 2003 має кращу стійкість і захищеність, що робить її оптимальним вибором для складних і відповідальних умов

експлуатації. Отримані результати можуть бути корисними для подальшого вдосконалення систем контролю та управління в різних галузях, таких як транспорт, енергетика та промисловість.

ВИСНОВКИ

У першому розділі розглянуто основні методи забезпечення функціональної безпеки АСУ ТП. Проаналізовано структуру системи, до складу якої входять датчики маси, висоти, викидів шкідливих речовин, контролери, виконавчі механізми, камери спостереження та інші елементи. Розглянуто етапи життєвого циклу автоматизованої системи та визначено причини відмов: технічні дефекти, помилки персоналу та зовнішні фактори. Наведено методи резервування, які мінімізують ризик відмов. У розділі також описані методи аналізу ризиків, такі як HAZOP, FMEA та FTA, що дозволяють систематично оцінювати загрози. Окрема увага приділяється стандарту ISO 39001, який регулює вимоги до систем безпеки дорожнього руху.

Другий розділ присвячений методам визначення надійності автоматизованих систем. Описано основні показники надійності: ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов та середній час до відмови. Побудовано карту надійності, яка дозволяє моделювати взаємодію компонентів системи з урахуванням їхнього резервування. Використано підходи для обчислення параметрів надійності при різних типах з'єднань: послідовному, паралельному, комбінованому. Важливим аспектом є технічна діагностика, яка забезпечує моніторинг стану компонентів у реальному часі, прогнозування можливих відмов та своєчасне втручання для усунення проблем.

Третій розділ зосереджений на алгоритмічному проектуванні системи. У ньому визначено ключові функціональні підсистеми: контроль ваги та габаритів транспортних засобів, керування шлагбаумами, моніторинг швидкості, перевірка стану фар, керування рівнем освітлення та вентиляційною системою. Розроблено алгоритм роботи системи, який включає автоматичну ідентифікацію транспортних засобів, перевірку їхніх параметрів і реагування на порушення. Алгоритм забезпечує інтеграцію всіх підсистем, що дозволяє ефективно координувати роботу системи. Окремо описано, як система

контролює транспорт у тунелі, зокрема виявляє порушення та автоматично регулює шлагбауми або повідомляє оператора про проблему

Четвертий розділ розкриває процес розробки програмного забезпечення для автоматизованої системи. Обґрунтовано вибір компонентів програмного забезпечення з урахуванням вимог до функціональної безпеки. Детально описано розробку функцій контролю та керування, спрямованих на забезпечення стабільної роботи системи в умовах високих ризиків. Виконано розрахунки ймовірності безвідмовної роботи, які підтвердили ефективність запропонованих рішень. Наведено приклади реалізації алгоритмів, які забезпечують автоматичну обробку даних з датчиків, моніторинг стану системи та оперативне реагування на потенційні відмови.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Монбланський тунель. Сучасний журнал про безпеку – Надзвичайна ситуація [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://ns-plus.com.ua/2019/03/16/monblanskyj-tunel/>
2. Свобода Р. Швейцарські рятувальники намагаються витягти тіла загиблих із тунелю Сен-Готард в Альпах, де учора внаслідок зіткнення двох вантажівок виникла пожежа, що триває і досі. Радіо Свобода. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.radiosvoboda.org/a/882261.html>
3. Бурлаков В. І. Надійність // Велика українська енциклопедія. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://vue.gov.ua/Надійність>
4. ДБН В.2.3-27:2023. "Тунелі. Норми проектування". Чинний від 2023-08-18.
5. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160с.
6. Конспект лекцій з дисциплін «Автоматизація технологічних процесів та установок» і «Автоматизація технологічних процесів» / С.М. Єсаулов, О.Ф. Бабічева– Харків : ХНАМГ, 2009. – 78с.
7. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник / В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків : НТУ «ХП», 2016. – 385 с.
8. ДСТУ ISO 39001:2015. Система управління безпекою дорожнього руху. Чинний від 2015-10-29. Вид. офіц
9. Методичні вказівки з дипломного проектування систем автоматизації вибухонебезпечних виробництв / Г.І. Манко, К.О. Довгопола . – Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ. – 2015. – 60 с.
10. Промислові засоби автоматизації. Ч. І. Вимірювальні пристрої : навчальний посібник / А. К. Бабіченко та ін. ; ред. А. К. Бабіченко. Харків : НТУ «ХП», 2001. 470 с.
11. Дзінько Р І. Підвищення надійності системи оперативного управління гнучких виробничих систем : Дис. Київ, 2016. 160 с.

12. Використання мікропотоків для збору та обробки даних про стан ГВС.: АСАУ / Р. І. Дзінько, та ін. – Київ : НТУ КПІ, 2011.
13. Підвищення відмовостійкості функціонування гнучких виробничих систем за допомогою прихованих марківських моделей / Дзінько Р.І. – Київ : НТУ КПІ, 2011.
14. Адаптивні системи автоматичного управління/ Лісовиченко О.І. – Київ : НТУ КПІ – 2013.
15. Система оперативного контролю виробництва з дублюючою синхронною моделлю / Дзінько Р.І. та ін. . – Київ : НТУ КПІ, – 2013..
16. Підвищення відмовостійкості функціонування гнучких виробничих систем за допомогою прихованих марківських моделей / Р.І. Дзінько та ін, . – Київ : НТУ КПІ, 2013.
17. 6ED1052-1HB08-0BA0 Логічний модуль LOGO 8 Basic 24RCE. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://samsnab.com.ua/avtomatika/simatic-siemens/siemens-logo/logo-basic/475-6ed1052-1hb08-0ba0>.
18. 6ed1055-1cb00-0ba2. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://mall.industry.siemens.com/mall/Catalog/Product/6ED1055-1CB00-0BA2>.
19. Avs-104. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://comlaser.net/fixed-lidar-products/avs-104/>.
20. AXIS M1135-E mk II box camera | axis communications. Axis Communications – Technologieführer im Bereich Netzwerk-Kameras und andere IP-Netzwerklösungen | Axis Communications. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.axis.com/products/axis-m1135-e-mk-ii#technical-specifications>.
21. Faac b680h. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://www.faac.co.uk/productfiles/278_Manual_rad82906.pdf.

22. Nitrogen Dioxide sensor NO2-B43F. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://store.alphasense.com/no2-b43f/>.
23. No2-B43f nitrogen dioxide sensor 4-electrode. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://turnkey-instruments.com/wp-content/uploads/2018/05/NO2-B43F.pdf>.
24. Siemens - carbon monoxide sensor - QSA/QSM series. Tecnologia Shop. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://tecnologiashop.com.au/products/qsacosensor>.
25. SIWAREX WL280 RN-S SA Load cell. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/215/109765215/att_1125533/v1/WL280_RN-S_SA_wt10_en.pdf.
26. Submittal sheet document no. A6V11380355 august 17, 2020 QSA series fine dust sensors with selectable measuring range. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://cdn.shopify.com/s/files/1/0795/5120/1578/files/QSA_DATASHEET.pdf?v=1699238469.
27. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник / О.М. Васілевський, та ін. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 129с.
28. Надійність технічних систем : методичні рекомендації до самостійної роботи студентів денної і заочної форм навчання за спеціальністю «Інформаційні технології проектування» / К. В. Власенко, та ін. – Краматорськ : ДДМА, 2016 – 41 с.
29. Тиш Є. В. „Надійність, контроль, діагностика та експлуатація ЕОМ” : конспект лекцій. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулія, 2016.
30. ARMS reliability: why do you need a reliability block diagram. Reliability Engineering | ARMS Reliability. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.armsreliability.com/page/resources/blog/why-do-you-need-a-reliability-block-diagram>

31. Система електронного забезпечення навчання ЗНУ. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/523469/mod_resource/content/1/Nad1.pdf.
32. Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lekcija-4-zahalna-harakterystyka-nadijnosti-jak-nauky-208-ahroinzheneriya.pdf>.
33. Технічні засоби автоматизації. Лабораторний практикум : навчальний посібник / Г. С.Тимчик та ін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. –174 с.
34. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01].
35. Розрахунки систем контролю та керування : навчальний посібник / Г.І. Манко та ін. – Дніпро : УДХТУ, 2018. – 191 с.
36. ., Ковальчук В. Використання методу дерева відмов для аналізу небезпеки/ О. Ф. Бабаджанова та ін. – Київ : НПУ імені М.П. Драгоманова, 2020. – 197с
37. ІЕС 61508-1. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. Official edition
38. Основи надійності складних систем та систем автоматизації. Комп'ютерний практикум : навчальний посібник/ А. О. Абрамова – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 61 с.
39. Якість і надійність технологічних систем : посібник для студентів технічних спеціальностей / Г.П. Клименко, та ін - Краматорськ : ДДМА, 2018. – 199с.
40. Основи теорії надійності систем управління і автоматики. Навчальний посібник / С. Б. Дубіненко та ін. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 65 с.

41. Оцінка надійності резервованих систем при обмеженій вихідній інформації : монографія / Б.П. Креденцер, та ін; ред. Б.П. Креденцера ; НТУ – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2013. - 334.
42. Проектування систем автоматизації : навч. посібник / М.С. Пушкар та ін. – Дніпро.: НГУ,2013. – 268с.
43. Пархуць Л., Хома Т., Хмиз О. Організаційно-технічне забезпечення процесу відновлення інформаційно-комунікаційних систем після аварії. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. 2012
44. Автоматизація технологічних процесів : конспект лекцій / В. Е. Абракітов ; – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 80 с.
45. Автоматизація виробничих процесів: підручник / О. І. Черевко, Л. та ін ;. – Харків : ХДУХТ 2014. – 186 с.
46. Engineering systems reliability, safety, and maintenance an integrated approach./ Dhillon B. – Taylor & Francis Group, 2017.
47. . Practical reliability engineering./ Kleyner A –Wiley & Sons, Incorporated, John, 2012.
48. Fault tree handbook./ Nuclear Regulatory Commission, 1987. –218 p.
49. IEC 61025. Fault tree analysis (FTA). Official edition.
50. IEC 61882. Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide. Official edition.
51. IEC 60812. Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA). Official edition.
52. Reliability and risk analysis./ Modarres M., Groth K. – CRC Press, 2023.
53. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник / О.М. Васілевський, О.Г. Ігнатенко. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 160с
54. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики: навчальний посібник. / В.Ф. Кустов – Харків: УкрДАЗТ, 2008. - 218с.

55. Надійність технічних систем: конспект лекцій. / Савельєва О.С. – Одеса: «Одеська політехніка». 2021. – 109 с.
56. Надійність технологічних систем та обладнання / Г. О. Оборський, та ін. – Одеса: Бахва, 2013. – 560 с
57. Дослідження помилок програмного забезпечення / О.М. Змеул, та ін – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012.
58. Дослідження методів забезпечення надійності програмного забезпечення. Сучасні інформаційні технології та програмне забезпечення комп'ютерних систем./ О.М. Змеул, та ін – Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012.
59. Інженерія надійності програмного забезпечення : навчальний посібник. / Добровольський Ю.Г. Чернівці: ЧНУ ім. Ю.Федьковича, 2022. –126с.
60. Надійність технологічних систем: посібник-практикум./ Н.І. Болтянська – Мелітополь: Люкс, 2019. –162 с
61. Підвищення надійності АСУ ТП. StudFiles. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/5195124/>.
62. Цирульник, С., Бородай, Я., Ткачук, В., & Непийвода, М. (2021). Програмне резервування мікропроцесорних систем. InterConf, (49), 621-611. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.51582/interconf.7-8.04.2021.067>
63. Посібник "Система управління безпекою руху на автомобільному транспорті". [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: https://mtu.gov.ua/files/GUIDE_ua_2016.pdf.
64. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник/ Березуцький В.В. та ін. – Харків. : НТУ ХПІ, 2016. – 385 с.
65. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : посібник з лекцій. / В.В. Карташов – Тернопіль : ТНТУ ім.І.Пулюя, 2017. – 149.с

66. Методи оцінки рівнів sil при розробці вимог до повноти функціональної безпеки електричних /електронних/ програмованих електронних систем / В. Лифар та ін. – СНУ ім. В. Даля

67. What is LiDAR and How Does it Work? | Synopsys. Synopsys | EDA Tools, Semiconductor IP & Systems Verification. [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-lidar.html>.

68. Остапенко В. О. Методи оцінки функціональної безпеки бездротових сенсорних мереж. Наукоємні технології. 2018. № 1. С. 28—36.

69. Цуркан В., Шаповал О. Аналіз методів оцінювання ризику безпеки комп'ютерних мереж. Information Technology and Security. 2022. Vol. 10, Iss. 2. С. 204—215.

70. Шолом П. С., Міскевич О. І., Мельник К.В. Аналіз загроз та оцінка ризиків безпеки інформації в безпроводних мережах. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2013. № 13. С. 66—70.

ДОДАТОК А

Стаття у фаховому журналі (подана до редакції журналу «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах»)

УДК 637.5.02

DOI:

КОРЕЦЬКА Л.О.

Хмельницький національний університет

ORCID ID: 0000-0002-4284-4936

ЯКИМЕНКО А.О.

Хмельницький національний університет

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В ТУНЕЛІ

У статті описано метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування рухом автомобільного транспорту у тунелі, що полягає у введенні резервованих елементів. Запропоновано алгоритм, метод та програмний код функціонування автоматизованої системи керування із підвищеною функціональною безпекою. Використання запропонованого методу дозволило підвищити ймовірність безвідмовної роботи автоматизованої системи.

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

KORETSKA Liudmyla O.

Khmelnytskyi National University

YAKYMENKO Alina O.

Khmelnytskyi National University

THE METHOD OF INCREASING THE FUNCTIONAL SAFETY OF THE AUTOMATED TRAFFIC CONTROL SYSTEM IN THE TUNNEL

The article describes a method for improving the functional safety of an automated vehicle traffic control system in a tunnel, which involves the introduction of redundant elements. An algorithm, method and program for the operation of the automated control system with increased functional safety are proposed. The use of the proposed method has made it possible to increase the probability of failure-free operation of the automated system.

In this paper, we model and calculate the probability of failure-free operation of the circuits of an automated traffic control system in a tunnel with sensor redundancy using architectures 1oo2 and 2oo3. It has been established that the redundancy of the circuit elements significantly increases the probability of failure of the circuits for monitoring traffic through the tunnel and the air condition in the tunnel, and thus the automated traffic control system in the tunnel as a whole. The 2oo3 redundancy architecture has the advantage in terms of reliability, as it provides a higher level of protection against failures, but is more expensive, as it requires the use of more components in the system.

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

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ

Дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) у тунелях мають специфічний характер через обмежений простір, погану вентиляцію та складність евакуації. Хоча кількість аварій у тунелях зазвичай нижча, ніж на відкритих дорогах, їхні наслідки можуть бути серйознішими. Основними причинами ДТП у тунелях є перевищення швидкості, недотримання дистанції та погана видимість. Крім того, пожежі, які виникають внаслідок аварій, можуть швидко поширюватися через обмежений доступ свіжого повітря та вентиляційні труднощі. Одними з найвідоміших катастроф є аварії в Монбланському тунелі [1] у 1999 році та Готтардському тунелі [2] у 2001 році. В Монбланському тунелі пожежа, що виникла внаслідок ДТП з вантажівкою, забрала життя 39 людей, а в

Готтарді зіткнення двох вантажівок призвело до масштабної пожежі, яка спричинила смерть 11 осіб. Ці трагедії підкреслили важливість впровадження жорстких стандартів безпеки.

Ключовими елементами таких стандартів є функціональна безпека та підвищена надійність систем [3], які покликані забезпечити як запобігання аваріям, так і ефективне реагування на них. Надійність систем — це здатність витримувати тривалі навантаження та функціонувати безвідмовно навіть у найекстремальніших умовах [4, 5]. Для підвищення надійності використовуються резервовані системи, постійний моніторинг технічного стану, а також регулярне тестування систем безпеки [6]. Такий підхід дозволяє не лише зменшити наслідки інцидентів, але й запобігати їхньому виникненню за допомогою прогнозування потенційних загроз. Тому підвищення надійності та впровадження комплексних рішень із функціональної безпеки є ключовими для мінімізації ризиків для людей та інфраструктури.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для забезпечення безпеки руху у тунелі запропоновано і розроблено автоматизовану систему керування рухом транспорту у тунелі (АСКРТТ). Така система повинна виконувати наступні завдання:

- фіксувати загальну обстановку на дорозі;
- повинна містити у своєму складі підсистему виявлення диму;
- забезпечувати керування вентиляційною системою, що дозволить забезпечити ефективне вентильовання з метою регулювання вмісту викидів у повітрі;
- забезпечувати оптимальний трафік у тунелі завдяки фіксації швидкості авто;
- обмежувати рух великогабаритних та важких автомобілів, що сприятиме збереженню дорожнього покриття та забезпечить підвищення пропускної здатності тунелю;
- забезпечити автономний та безперервний режим роботи протягом тривалого часу (10-12 місяців).

Запропонована автоматизована система керування складається з п'яти підсистем:

- підсистема визначення габаритних та вагових параметрів;
- підсистема керування шлагбаумом;
- підсистема визначення швидкості транспорту та ввімкнення фар;
- підсистема керування рівнем освітленості у тунелі;
- підсистема керування вентиляційною системою тунелю із датчиками визначення вмісту CO та NO₂.

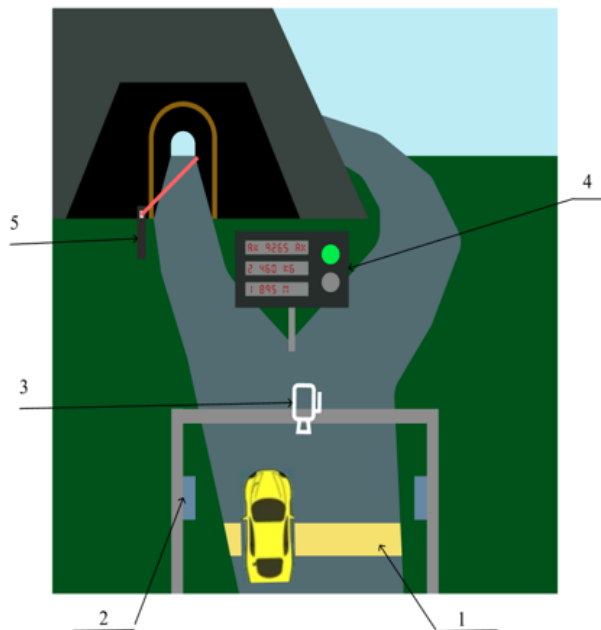


Рисунок 1 – Технологічна схема АСКРТТ перед в'їздом в тунель

Перші дві підсистеми розташовані перед в'їздом в тунель, інші три – в самому тунелі.

На рисунку 1 зображено технологічну схему АСКРТТ перед в'їздом в тунель, де 1 – ваговий термінал, 2 – датчик висоти, 3 – камера фіксації номерних знаків, 4 інформаційне табло, 5 – шлагбаум.

Підсистема визначення габаритних та вагових параметрів АСКРТТ у своєму складі містить датчики ваги і висоти та розташована на відстані 1 кілометра перед в'їздом у тунель і

виконує попередню перевірку транспортних засобів. На цьому етапі автомобіль проїжджає через ваговий термінал, де автоматично визначається його маса. Паралельно з цим проводиться вимірювання висоти транспортного засобу для оцінки його відповідності габаритним обмеженням тунелю.

Одночасно, спеціалізована камера з функцією розпізнавання номерних знаків фіксує реєстраційний номер автомобіля, і всі зібрані дані – маса, висота та номер транспортного засобу – передаються до централізованої бази даних. Ці дані негайно обробляються, і на інформаційному табло, встановленому на під'їзді до тунелю, відображається реєстраційний номер автомобіля разом із його характеристиками, такими як маса та висота. На основі отриманих даних система також автоматично генерує інформацію про дозвіл або заборону на в'їзд до тунелю. Якщо автомобіль відповідає встановленим параметрам безпеки та не перевищує габаритних або вагових обмежень, на табло з'являється повідомлення про дозвіл на в'їзд. У разі перевищення допустимих параметрів система може показати заборонний сигнал, що вказує на необхідність припинення руху до тунелю. Якщо автомобіль продовжує пересування до тунелю незважаючи на заборону, то спрацьовує підсистема керування шлагбаумом, на який подається сигнал для його опускання, що не дозволить цьому транспортному засобу продовжувати рух у тунель.

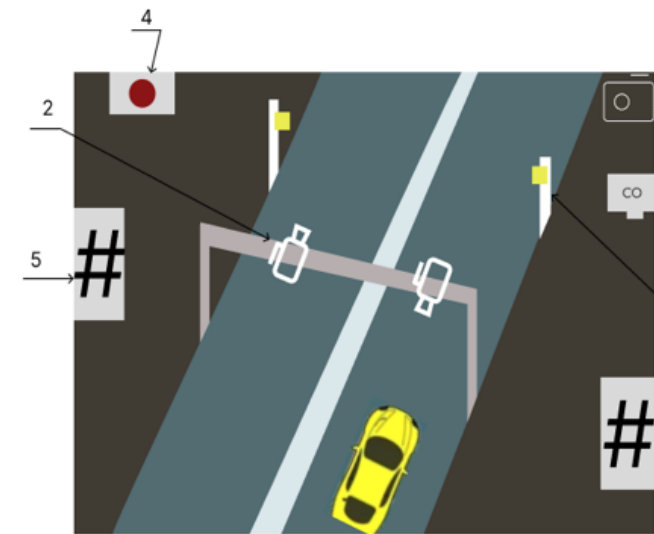


Рисунок 2 – Технологічна схема АСКРТТ в тунелі

На рисунку 2 зображено технологічну схему підсистем АСКРТТ в тунелі, де 1 – камера загального огляду, 2 – камера фіксації швидкості, 3 – датчик CO, 4 – датчик NO₂, 5 – вентиляція, 6 – датчик фіксації світла фар.

Підсистема визначення швидкості транспорту та ввімкнення фар АСКРТТ, що містить камеру для фіксування швидкості, номерних знаків і ввімкнення фар та розташована безпосередньо всередині тунелю і виконує кілька важливих функцій. Коли автомобіль в'їжджає в тунель, його спочатку фіксує камера загального огляду, яка не тільки робить відеозапис, але й вимірює швидкість руху транспортного засобу. Паралельно з цим, спеціалізована камера реєструє номерні знаки автомобіля для подальшої ідентифікації.

Після первинної фіксації, АСКРТТ переходить до контролю екологічних показників всередині тунелю із використанням підсистеми керування вентиляційною системою тунелю. За допомогою датчиків проводяться вимірювання рівня викидів CO та NO₂. Якщо підсистемою виявлено, що рівень викидів перевищує встановлені норми, формується сигнал керування вентиляційною системою та подається на її вхід, внаслідок чого відбувається відкриття заслінок для видалення забруднюючих речовин з тунелю та забезпечення належної циркуляції повітря.

Крім того, одним із заключних етапів моніторингу є вимірювання рівня освітлення всередині тунелю. Підсистема керування рівнем освітленості у тунелі у своєму складі містить датчик освітленості, за допомогою якого визначається рівень освітленості. Цей показник фіксується для забезпечення відповідних умов видимості для водіїв та для підтримання безпеки руху. У разі виявлення недостатнього рівня освітлення підсистема надсилає сигнал для його корегування, гарантуючи комфортні умови для водіїв і знижуючи ризики аварійних ситуацій.

У випадку, якщо транспортний засіб перевищує дозволу швидкість або/та рухається з вимкненими фарами, дані надходять на панель оператора, оператор АСКРТТ фіксує порушення та виносить штраф.

На рисунку 3 наведено алгоритм функціонування підсистеми контролю параметрів авто як перед в'їздом в тунель так і всередині тунелю.

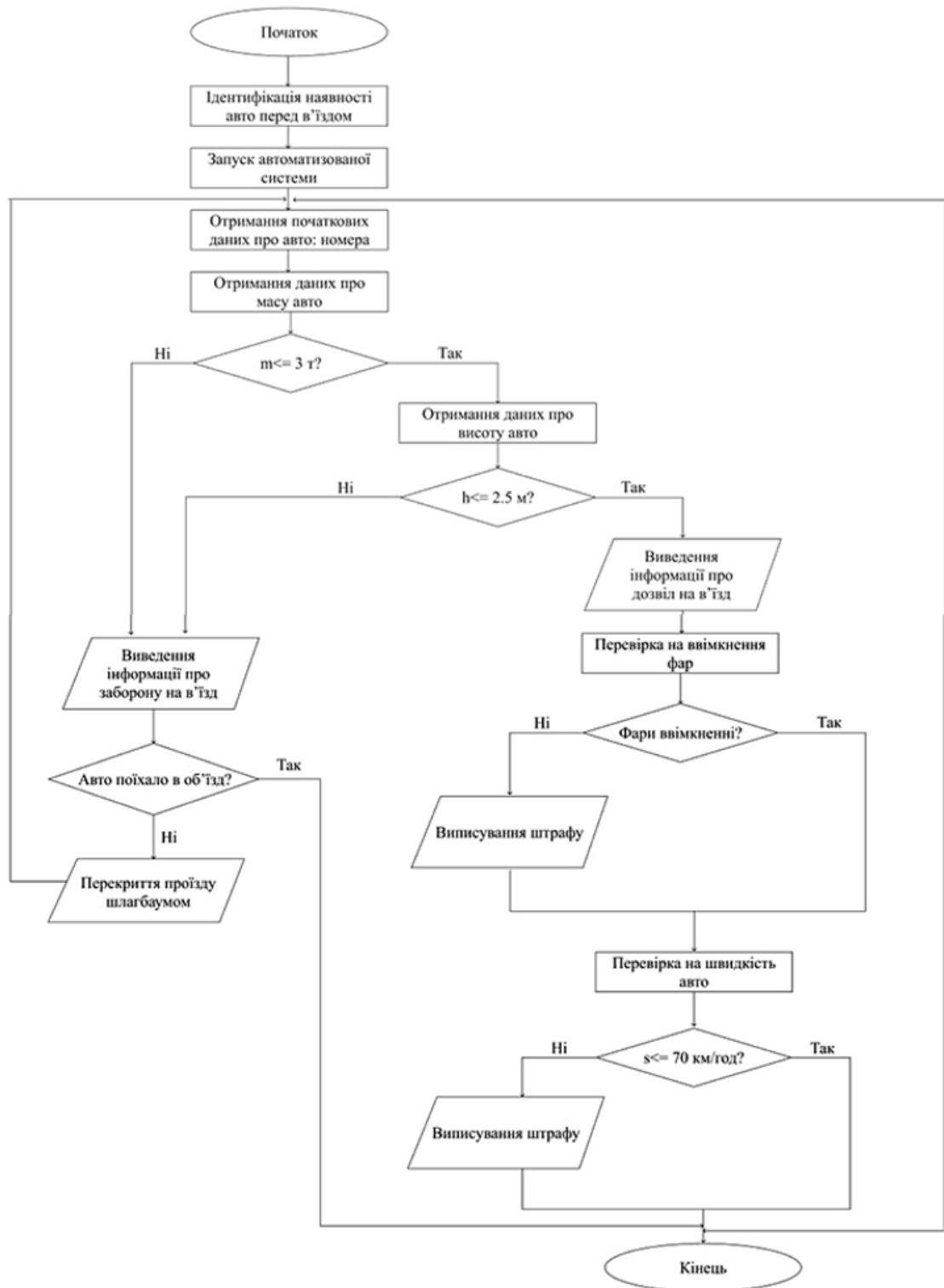


Рисунок 3 – Алгоритм функціонування автоматизованих підсистем контролю за параметрами транспорту

Алгоритм функціонування автоматизованої системи контролю за параметрами транспорту наступний. Система починає свою роботу з моменту, коли автомобіль потрапляє в зону дії датчиків. Коли система виявляє автомобіль, вона автоматично зчитує його номерний знак за допомогою камер, які використовують технологію

розпізнавання номерів. Цей процес дозволяє ідентифікувати транспортний засіб і зв'язати його з базами даних для подальшого аналізу.

Після того як номер автомобіля був розпізнаний, система переходить до збору даних про масу та висоту транспортного засобу. Якщо хоча б один з параметрів перевищує норму, а саме 3 тонни та 2,5 метри, то система виводить інформацію про заборону на в'їзд. У випадку, якщо автомобіль не відповідає встановленим параметрам для проїзду через тунель і, незважаючи на це, продовжує рух у напрямку тунелю, система подає сигнал на опускання шлагбауму. Це запобігає можливості несанкційованого проїзду і захищає тунель від можливих пошкоджень, спричинених проїздом невідповідного транспортного засобу. Це критично важливо для запобігання пошкодженню інфраструктури та аварійних ситуацій. Якщо ж параметри відповідають нормам, система надає дозвіл на продовження руху до тунелю.

У середині тунелю система продовжує контролювати безпеку руху. Одним з таких контрольних етапів є перевірка стану фар. Це особливо важливо в тунелях, де рівень освітлення може бути недостатнім для забезпечення нормальної видимості. Якщо фари вимкнені, камера, яка встановлена в тунелі фіксує це порушення і передає дані про автомобіль оператору.

Наступний крок – перевірка швидкості руху. У тунелях часто встановлені обмеження швидкості для забезпечення безпеки всіх учасників руху. Якщо швидкість перевищує встановлену межу в 70 км/год, пристрій заміру швидкості передає дані про авто оператору. Після виконання всіх перевірок – маси, висоти, стану фар і швидкості – алгоритм завершує свою роботу. Система повертається в режим очікування, готова до обробки параметрів наступного транспортного засобу.

На рисунку 4 зображено алгоритм роботи підсистеми керування вентиляційною системою тунелю із датчиками визначення вмісту CO та NO₂ для моніторингу викидів та регулювання їх вмісту у повітрі тунелю. Ця підсистема постійно відстежує концентрацію шкідливих газів, таких як чадний газ (CO) та діоксид азоту (NO₂), що можуть загрожувати здоров'ю людей.

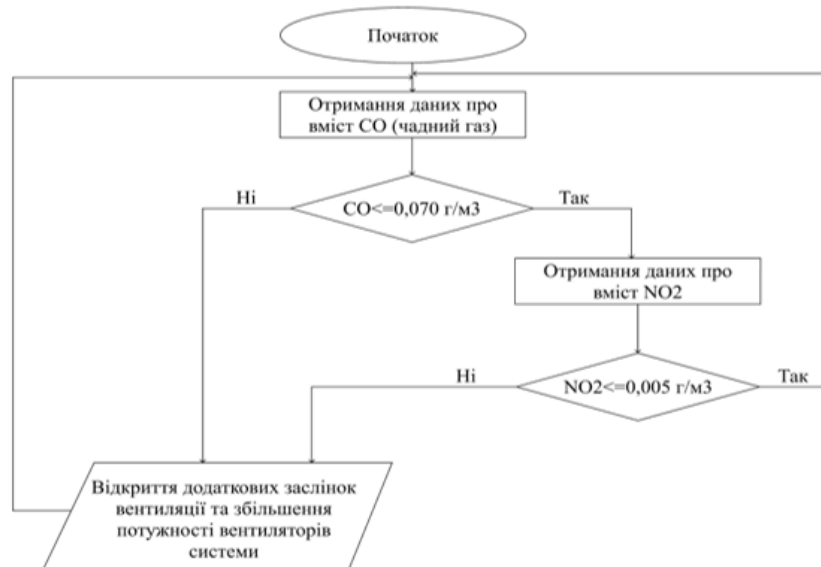


Рисунок 4 – Алгоритм функціонування автоматизованої підсистеми керування вентиляційною системою тунелю

Алгоритм починає свою роботу з постійного отримання даних про рівень чадного газу (CO) у повітрі. Він здійснює вимірювання концентрації CO, і якщо показник не перевищує гранично допустиму норму у 0,070 г/м³, система продовжує працювати в стандартному режимі. На цьому етапі алгоритм переходить до наступного кроку — перевірки рівня діоксиду азоту (NO₂). Якщо рівень NO₂ також не виходить за межі

допустимого значення ($\leq 0,005 \text{ г/м}^3$), система продовжує безперервний моніторинг повітря без будь-яких корегувальних дій.

Проте, у випадку, якщо концентрація чадного газу перевищує $0,070 \text{ г/м}^3$ або рівень діоксиду азоту перевищує $0,005 \text{ г/м}^3$ [7], система негайно реагує. Вона подає сигнал на додаткові вентиляційні заслінки для відкриття, що дозволяє збільшити приплив свіжого повітря, а також на підвищення потужності вентиляторів для прискореного очищення повітря. Це забезпечує ефективне зниження рівня шкідливих газів до безпечних меж, після чого система поступово знижує інтенсивність вентиляції і повертається в режим моніторингу для подальшого контролю повітряного середовища.

Для забезпечення безперебійної роботи системи контролю на кожному з етапів було запропоновано додаткові заходи підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування рухом транспорту у тунелі. Одним із таких рішень стало впровадження резервування датчиків, відоме як дублювання. Це дозволяє уникнути збоїв у випадку відмови одного з датчиків, забезпечуючи надійність контролю на кожному етапі перевірки. На рисунку 5 представлено програмний код на мові FBD управління системою автоматизованого контролю з підвищеною функціональною безпекою, створений в програмному забезпеченні LOGO! Soft Comfort компанії Siemens.

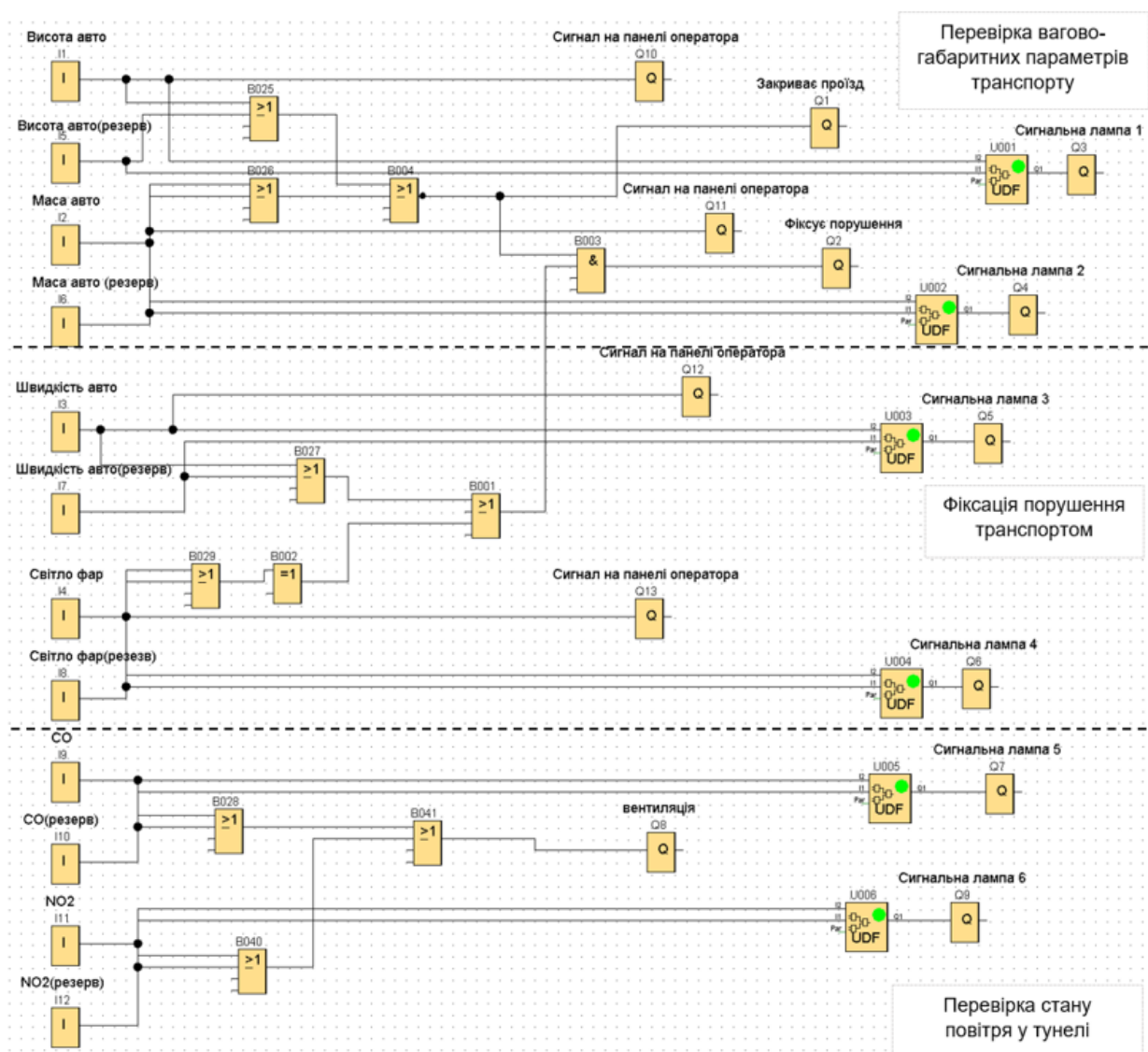


Рисунок 5 – Програмний код керування автоматизованою системою із підвищеною функціональною безпекою

У програмному кодї використано наступні вхідні дані:

- I1 – сигнал з датчика вагового терміналу;
- I2 – сигнал з датчика заміру висоти;
- I3 – сигнал з датчика фіксування швидкості;
- I4 – сигнал з датчика фіксування освітлення фар;
- I5 – сигнал з резервованого датчика вагового терміналу;
- I6 – сигнал з резервованого датчика заміру висоти;
- I7 – сигнал з резервованого датчика фіксування швидкості;
- I8 – сигнал з резервованого датчика фіксування освітлення фар;
- I9 – сигнал з датчика викидів CO;
- I10 – сигнал з резервованого датчика фіксування викидів CO;
- I11 – сигнал з датчика NO₂;
- I12 – сигнал з резервованого датчика фіксування NO₂;

У програмному кодї використано наступні вихідні дані:

- Q1 – сигнал, що задає дозвіл на проїзд;
- Q2 – сигнал, що створює повідомлення оператору про фіксацію порушення;
- Q8 – сигнал, що керує потужністю вентиляційної системи;
- Q3 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 1, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків вагів;
- Q4 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 2, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків заміру висоти;
- Q5 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 3, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків фіксації швидкості;
- Q6 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 4, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків фіксації роботи фар;
- Q7 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 5, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків фіксації викидів CO;
- Q9 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 6, яка сповіщає про вихід з ладу одного з датчиків фіксації NO₂;
- Q10 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 7, яка сповіщає оператора про заборону на в'їзд за висотою транспорту;
- Q11 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 8, яка сповіщає оператора про заборону на в'їзд за вагою транспорту;
- Q11 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 9, яка сповіщає оператора порушення швидкості транспорту;
- Q12 – сигнал, що задає роботу сигнальної лампи 10, яка сповіщає оператора порушення роботу фар транспорту.

Із використанням методу декомпозиції на прикладі контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту проведена оцінка надійності його відмовостійкості. Контур підсистеми складається із датчика ваги, ліній зв'язку, логічного модуля та виконавчого пристрою. На рисунку 6 наведено структурно-функціональну схему контуру.

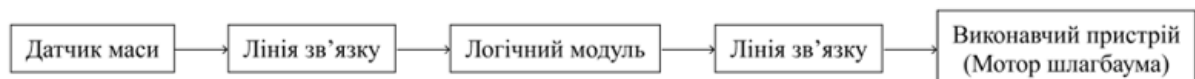


Рисунок 6 – Структурно-функціональна схема контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту

За допомогою формули (1) здійснено оцінку ймовірності безвідмовної роботи елементів контуру [8]:

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

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

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

$$P_k(t) = \prod_{i=1}^n P_{DM} \cdot P_{LZ} \cdot P_{LM} \cdot P_{LZ} \cdot P_{ВП} \quad (2)$$

де $P_k(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи контуру; P_{DM} – ймовірність безвідмовної роботи датчика ваги; P_{LZ} – ймовірність безвідмовної роботи ліній зв'язку; P_{LM} – ймовірність безвідмовної роботи логічного модуля; $P_{ВП}$ – ймовірність безвідмовної роботи виконавчого пристрою.

Згідно (1) визначимо ймовірність безвідмовної роботи елементів контуру за час напрацювання 8760 год. Ймовірність безвідмовної роботи датчика ваги:

$$P_{DM} = e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = 0,9826.$$

Ймовірність безвідмовної роботи логічного модуля:

$$P_{LM} = e^{-2,28 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,9980.$$

Ймовірність безвідмовної роботи ліній зв'язку:

$$P_{LZ} = e^{-9,51 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,9917.$$

Ймовірність безвідмовної роботи виконавчого пристрою:

$$P_{ВП} = e^{-5,7 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,9950.$$

Згідно (2) ймовірність безвідмовної роботи контуру становитиме:

$$P_k(8760) = 0,9826 \cdot 0,9917 \cdot 0,9980 \cdot 0,9917 \cdot 0,9950 = 0,9590.$$

Отримане значення є досить низьким, що свідчить про недостатню надійність контуру контролю пропуску авто через тунель за масою. Це значення можливо збільшити при резервуванні елементів контуру.

Проведемо оцінку надійності при резервуванні датчиків ваги та ліній зв'язку. На рисунку 7 наведено структурно-функціональну схему контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту через тунель за масою з резервуванням датчиків за архітектурою 1oo2.

Архітектура 1oo2 (One Out Of Two) є однією з найпоширеніших конфігурацій резервування в системах управління та контролю. У такій конфігурації використовується два незалежних компоненти і для виконання функції досить, щоб коректно працював хоча б один з них. Це значно підвищує надійність системи, оскільки навіть у разі відмови одного датчика або пристрою другий зможе взяти на себе його функцію. Така архітектура особливо корисна у критичних системах, де відмова одного компонента не повинна призводити до зупинки роботи всієї системи.



Рисунок 7 – Структурно-функціональна схема контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту з резервуванням за архітектурою 1oo2

При резервуванні елементів ймовірність безвідмовної роботи паралельно-організованого контуру визначається за виразом (3)

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

де k – кількість повторів елементів при резервуванні.

Згідно (3) ймовірність безвідмовності роботи резервованих датчиків ваги та ліній зв'язку становитиме:

$$P_{ДМ,рез}(8760) = 1 - (1 - 0.9826) \cdot (1 - 0.9826) = 0.9996,$$

$$P_{ЛЗ,рез}(8760) = 1 - (1 - 0.9917) \cdot (1 - 0.9917) = 0.9999.$$

А ймовірність безвідмовної роботи контуру $P_{к1}(t)$ при резервуванні датчиків та ліній зв'язку за (2) набуде значення:

$$P_{к1}(8760) = 0.9996 \cdot 0.9999 \cdot 0.9980 \cdot 0.9999 \cdot 0.9950 = 0.9924.$$

При порівнянні $P_k(t)$ та $P_{к1}(t)$ встановлено, що резервування дало можливість підвищити ймовірність безвідмовної роботи контуру.

Аналогічним чином потрібно провести резервування для інших контурів.

Для порівняння методів підвищення функціональної безпеки, розглянемо архітектуру 2oo3 (Two Out Of Three), яка зображена на рисунку 8. Ця архітектура є важливим підходом у розробці надійних систем, оскільки вона забезпечує високий рівень відмовостійкості та стійкості до несправностей. Основна ідея полягає в тому, що для прийняття рішення необхідно, щоб два з трьох компонентів або датчиків надали однакові результати. Це дозволяє системі продовжувати функціонувати навіть у випадку відмови одного з елементів, що є критично важливим у ситуаціях, де безпека є пріоритетом.



Рисунок 8 – Структурно-функціональна схема контуру вимірювання значення ваги підсистеми визначення габаритних та вагових параметрів транспорту з резервуванням за архітектурою 2oo3

Згідно (3) ймовірність безвідмовності роботи резервованих датчиків ваги та ліній зв'язку становитиме:

$$P_{\text{дм,рез}}(8760) = 1 - (1 - 0.9826) \cdot (1 - 0.9826) \cdot (1 - 0.9826) = 0.9999,$$

$$P_{\text{лз,рез}}(8760) = 1 - (1 - 0.9917) \cdot (1 - 0.9917) \cdot (1 - 0.9917) = 0.9999.$$

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

$$P_{\text{к1}}(8760) = 0.9999 \cdot 0.9999 \cdot 0.9980 \cdot 0.9999 \cdot 0.9950 = 0.9927.$$

Аналогічним чином були проведені дослідження для контурів усіх датчиків. У таблиці 1 наведено результати обчислень значень ймовірності безвідмовної роботи контурів для усіх датчиків без резервування, з резервуванням за архітектурою 1оо2 та з резервуванням за архітектурою 2оо3.

Таблиця 1 – Порівняння значень ймовірності безвідмовної роботи контурів

	Значення ймовірності безвідмовної роботи контурів датчика			
	маси транспорту	висоти транспорту	вмісту CO	вмісту NO ₂
Без резервування	0,9590	0,9747	0,9695	0,9703
З резервуванням (1оо2)	0,9924	0,9927	0,9999	0,9999
З резервуванням (2оо3)	0,9927	0,9927	0,9999	0,9999

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про доцільність використання резервування елементів автоматизованої системи керування рухом автомобіля у тунелі, що дозволило підвищити значення ймовірності її безвідмовної роботи.

ВИСНОВКИ

У результаті проведених розрахунків було встановлено, що резервування елементів контуру значно підвищує ймовірність безвідмовної роботи контуру контролю руху транспорту через тунель та стану повітря в тунелі, а отже автоматизованої системи керування рухом транспорту у тунелі в цілому. Для порівняння ефективності архітектур резервування 1оо2 та 2оо3 було взято контур контролю пропуску авто через тунель за масою. Архітектура 1оо2 забезпечує ймовірність безвідмовної роботи, що зросла на 0,0334, досягнувши значення 0,9924 з 0,9590. Вона вимагає, щоб два з двох датчиків видавали однакові результати для прийняття рішення. У разі несправності одного з датчиків, система може залишитися без необхідних даних, що зменшує її надійність.

Архітектура 2оо3 показує ще вищу ймовірність безвідмовної роботи, яка зросла на 0,0337 до 0,9927 з 0,9590. Тут для прийняття рішення потрібно, щоб два з трьох датчиків давали однакові результати, що забезпечує більшу стійкість до несправностей. Це дозволяє системі продовжувати функціонувати, навіть якщо один з датчиків виявляється ненадійним.

Таким чином, обидві архітектури демонструють позитивний вплив резервування на ефективність систем контролю. Архітектура резервування 2оо3 має перевагу в плані надійності, оскільки забезпечує вищий рівень захисту від відмов, проте є більш вартісною, оскільки вимагає використання більше компонентів у системі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сучасний журнал про безпеку: монбланський тунель. URL: <https://ns-plus.com.ua/2019/03/16/monblanskyj-tunel/> (дата звернення: 10.10.2024).
2. Радіо Свобода: швейцарські рятувальники намагаються витягти тіла загиблих із тунелю Сен-Готард в Альпах, де учора внаслідок зіткнення двох вантажівок виникла пожежа, що триває і досі. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/882261.html> (дата звернення: 10.10.2024).

3. ДСТУ EN 61508-1:2019. Функціональна безпека електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних із безпекою. Частина 1. Загальні вимоги (EN 61508-1:2010, IDT; IEC 61508-1:2010, IDT). Чинний від 2019-09-01. Вид. офіц. Київ, 2019.

4. Основи теорії надійності технічних систем / О. М. Павлюк та ін. Львів : Львів. політехніка, 2021. 208 с.

5. Основи надійності та діагностики інформаційних систем : навчальний посібник / В. Вишнівський та ін. Київ : ННІТ ДУТ, 2020. 184 с.

6. Бурлаков В. Велика українська енциклопедія: надійність. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/882261.html> (дата звернення: 10.10.2024).

7. ДБН В.2.3-27:2023. Тунелі. Норми проектування. Чинний від 2024-01-01. Вид. офіц. Київ : М-во розвитку громад, територій та інфраструктури України.

8. Васілевський О. М., Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2013. 160 с.

References

1. Suchasnyi zhurnal pro bezpeku: monblanskyi tunel. URL: <https://ns-plus.com.ua/2019/03/16/monblanskyj-tunel/> (data zvernennia: 10.10.2024).

2. Radio Svoboda: shveitsarski riatuvalnyky namahaiutsia vytyahty tila zahyblykh iz tuneliu Sen-Hotard v Alpakh, de uchora vnaslidok zitknennia dvokh vantazhivok vynykla pozhezha, shcho tryvaie i dosi. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/882261.html> (data zvernennia: 10.10.2024).

3. DSTU EN 61508-1:2019. Funktsionalna bezpeka elektrychnykh, elektronnykh, prohramovanykh elektronnykh system, poviazanykh iz bezpekoiu. Chastyna 1. Zahalni vymohy (EN 61508-1:2010, IDT; IEC 61508-1:2010, IDT). Chynnyi vid 2019-09-01. Vyd. ofits. Kyiv, 2019.

4. Osnovy teorii nadiinosti tekhnichnykh system / O. M. Pavliuk ta in. Lviv : Lviv. politekhnika, 2021. 208 s.

5. Osnovy nadiinosti ta diahnostyky informatsiinykh system : navchalnyi posibnyk / V. Vyshnivskyi ta in. Kyiv : NNIIT DUT, 2020. 184 s.

6. Burlakov V. Velyka ukrainska entsyklopediia: nadiinist. URL: <https://www.radiosvoboda.org/a/882261.html> (data zvernennia: 10.10.2024).

7. DBN V.2.3-27:2023. Tuneli. Normy proiektuvannia. Chynnyi vid 2024-01-01. Vyd. ofits. Kyiv : M-vo rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy.

8. 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: Якименко Аліна Олександрівна

Тема: Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування руху автомобільного транспорту у тунелі

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 84

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: розробити автоматизовану систему керування руху автомобільного транспорту у тунелі із підвищеною функціональною безпекою. Розроблено метод підвищення функціональної безпеки та надійності функціонування автоматизованої системи керування руху автомобільного транспорту у тунелі, який полягає у підвищенні функціональної безпеки автоматизованої системи керування рухом автомобільного транспорту в тунелі та забезпечити рівень безвідмовної роботи контурів контролю за габаритно-ваговими параметрами транспорту та вентиляційної системи в тунелі на рівні вище 0,95.

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 розглянуто методи оцінки ризиків та методи підвищення функціональної безпеки. Розроблено та описано детально об'єкт автоматизації та обґрунтовано необхідність підвищення функціональної безпеки АСКРТТ. У другому розділі було побудовано модель надійності АСКРТТ та розраховано показники надійності надійності на СОУ ГВС на базі карти надійності. У третьому розділі розроблено алгоритм роботи автоматизованої системи контролю за параметрами авто та алгоритм функціонування автоматизованої системи контролю за викидами в тунелі. Також розроблено програмний код АСКРТТ на мові у програмному середовищі. У четвертому розділі проаналізовано резервування за архітектурами 1002 та 1003 та вдалось збільшити значення безвідмовної роботи ліній зв'язку вище 0,95 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.

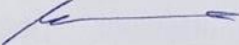
8. Інші зауваження: відсутні

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

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

завідувач кафедри кібербезпеки, к. т. н. доцент Ковач Юрій Павлович

"16" 12 2024 р.

 (підпис)

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

Якименко А.О.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРм-23-1

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 (StrikePlagiarism 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.

02.12.2024р.

дата



підпис

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Аліна ЯКИМЕНКО

Співавтор:

Назва: МКР Якименко

Науковий керівник: Людмила КОРЕЦЬКА

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1: 4.2%

Коефіцієнт подібності 2: 1.9%

Мікропробіли: 28

Заміна букв: 16

Інтервали: 0

Білі знаки: 1

Дата створення звіту: 2024-12-18 18:02:10.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-12-18

Дата



М. В. Федюна

експерт

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: 161047 Назва: МКР Метод підвищення функціональної безпеки автоматизованої системи керування руху автомобільного транспорту у тунелі Додано в БД: 2024-12-18 Автора: Аліна ЯКИМЕНКО Керівники: Людмила КОРЕЦЬКА Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	92135	760	2976 (3%)	36 (5%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

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 руху автомобільного транспорту у тунелі

Автор: Якименко Аліна Олександрівна

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

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

Науковий керівник: Корецька Людмила Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент

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 укриття 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.

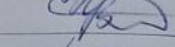
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 4,2% і адресується до 19 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

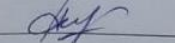
Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи







Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Людмила КОРЕЦЬКА