

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри автоматики та
телекомунікацій

_____ Іван ЛАКТИОНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Удосконалення комп'ютерно-інтегрованої технології контролю
дорожнього трафіку на основі Industry 4.0»

Виконав студент 4 курсу

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

_____ Чевелєв Анатолій Вадимович
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник зав. каф. АТ, д.т.н., доц. _____ Іван ЛАКТИОНОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф. _____ Олександр ВОВНА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

_____ ас. Дар'я ЖУКОВСЬКА
(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра

Тема: «Удосконалення комп'ютерно-інтегрованої технології контролю
дорожнього трафіку на основі Industry 4.0»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

сп-ті 151 АКТ

Анатолій ЧЕВЕЛЄВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник

Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Іван ЛАКТИОНОВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Гліб СТУПАК

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Валерій ПОЦЕПАЄВ

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль

Дар'я ЖУКОВСЬКА

(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації

Кафедра Автоматика та телекомунікації

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування

(шифр і назва)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТ
Іван ЛАКТИОНОВ

« _____ » 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Чевелєв Анатолій Вадимови

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку на основі Industry 4.0

керівник проекту (роботи) зав. каф. АТ, д.т.н., доц. Лактіонов Іван Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.04.2022 року № 163

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.3міст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз основних методів і тенденцій Industry 4.0; моделі контролю дорожнього трафіку; синтез і тестування комп'ютерної моделі системи; алгоритми роботи комп'ютерно-інтегрованої технології; датчики, мікроконтролер і модулі системи; структурна і функціональна схема комп'ютерно-інтегрованої технології.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	зав. каф. АТ, д.т.н., доц. Лактіонов І.С.		
2	ст. викл. Ступак Г.В.		
3	к.т.н., доц. каф. АТ, доц. Поцєпаєв В.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	РОЗДІЛ 1. Аналіз сучасних тенденцій розвитку комп'ютерно-інтегрованих технологій цифровізації міст на основі концепції Industry 4.0.	12.05.2022	
2	РОЗДІЛ 2. Компоненти, архітектура і алгоритм роботи комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку.	26.05.2022	
3	РОЗДІЛ 3. Дослідження комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку методами програмного тестування і комп'ютерного моделювання.	14.06.2022	
4	Додаток А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.	16.06.2022	

Студент _____
(підпис)

Анатолій ЧЕВЕЛІСВ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Іван ЛАКТІОНОВ
(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Чевелєв Анатолій Вадимович. Удосконалення комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку на основі Industry 4.0 / Випускна кваліфікаційна робота СО «Бакалавр» зі спеціальності 151 Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології. – ДонНТУ, Покровськ, 2022.

Пояснювальна записка: 64 стор., 29 рис., 15 літературних посилань.

В даний момент спостерігається збільшення попиту на комп'ютерно-інтегровані системи і цифрові технології, які реалізують автоматичний контроль за дорожнім трафіком, і які використовують в своїй архітектурі камери відеоспостереження, зонди і інші функціональні пристрої, що дозволяють підвищити рівень цифровізації населених пунктів у цілому.

Мета бакалаврського дослідження – розробити засоби і методи з удосконалення комп'ютерно-інтегрованої технології інтелектуального контролю дорожнього трафіку для цифровізації міст на основі Industry 4.0. Об'єкт бакалаврського дослідження – комп'ютерно-інтегрована технологія контролю дорожнього трафіку. Предмет бакалаврського дослідження – засоби і методи Industry 4.0 із вдосконалення комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку в умовах цифровізації розумних міст.

Основні результати бакалаврського дослідження: проаналізовано підходи концепції Industry 4.0 для створення цифрових міст; обрано апаратні компоненти для проєктування комп'ютерно-інтегрованої технології; розроблено архітектуру, функціональну схему і алгоритми роботи комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього руху; протестовано програмні коди для підвищення ефективності комп'ютерно-інтегрованої технології відстеження дорожнього трафіку.

Ключові слова: технологія, трафік, модель, програмний код, нечітка логіка, архітектура, транспорт.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МІСТ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ INDUSTRY 4.0.....	11
1.1 Необхідність і перспективність розробки комп'ютерно-інтегрованої технології контролю вуличного трафіку.....	11
1.2 Аналіз комп'ютеризованих методів виявлення заторів під час дорожнього трафіку.....	15
1.3 Аналіз комп'ютерно-орієнтованих методів локалізації транспортних засобів.....	20
1.4 Відомі методи виявлення аномальних ситуацій під час дорожнього трафіку.....	23
1.5 Висновки.....	25
2 КОМПОНЕНТИ, АРХІТЕКТУРА І АЛГОРИТМ РОБОТИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ДОРОЖНЬОГО ТРАФІКУ.....	26
2.1 Розробка архітектури і функціональної схеми комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку.....	26
2.2 Апаратні пристрої комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку.....	31
2.3 Програмні технології комп'ютерно-інтегрованої системи контролю дорожнього трафіку.....	39
2.4 Висновки.....	42
3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ДОРОЖНЬОГО ТРАФІКУ МЕТОДАМИ ПРОГРАМНОГО ТЕСТУВАННЯ І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	44

3.1 Комп'ютерна модель технології контролю дорожнього трафіку на базі нечіткої логіки.....	44
3.2 Програма забезпечення передачі даних про поточний стан дорожнього трафіку.....	50
3.3 Висновки.....	53
ВИСНОВОК.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	58

ВСТУП

Обґрунтування актуальності роботи. На протязі останніх років значно зростає попит на цифрові технології, а отже, актуалізується питання в транспортній галузі щодо ефективного цифрового контролю, моніторингу і автоматизованого керування дорожнім трафіком. Також у даний час переважна більшість диспетчерських центрів керування дорожнім трафіком та вуличним рухом під час локалізації, попередження та формування управлінських рішень на різні дорожньо-транспортні явища покладаються на людину-оператора. Проте такий підхід є відносно неефективним через те, що для значних глобальних мереж міських і позаміських доріг ця процедура є достатньо трудомісткою й потребує значних ресурсів і витрат, а людина-оператор схильна допускати суб'єктивні неточності і помилки в процесі роботи.

В останнє десятиріччя спостерігається досить динамічне збільшення попиту на комп'ютерно-орієнтовані інтелектуальні системи і адаптивні цифрові технології, що реалізують контроль за транспортною інфраструктурою і дорожнім трафіком, та які використовують в своїй архітектурі камери відеоспостереження, сенсори, зонди та інші функціональні пристрої, які дозволяють підвищити рівень автоматизації процедури контролю за дорожнім трафіком. Таким чином, тема даної роботи щодо вдосконалення комп'ютерно-інтегрованих технологій автоматизованого цифрового контролю дорожнього трафіку на основі Industry 4.0, є актуальною в даний момент.

Основна мета бакалаврського дослідження сформульована наступним чином: розробити засоби і методи з удосконалення комп'ютерно-інтегрованої технології інтелектуального цифрового контролю дорожнього трафіку для розумних міст на основі концепції Industry 4.0.

Об'єкт бакалаврського дослідження – комп'ютерно-інтегрована технологія контролю дорожнього трафіку.

Предмет бакалаврського дослідження – засоби і методи Industry 4.0 з

вдосконалення і підвищення рівня інтелектуалізації комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку в умовах комп'ютеризації розумних міст.

Основні завдання бакалаврського дослідження:

- проаналізувати відомі підходи концепції Industry 4.0 для створення розумних міст;
- проаналізувати використовувані технології, методи і засоби для комп'ютерно-орієнтованого контролю режимів дорожнього руху;
- вибрати сукупність апаратних компонент для проєктування комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку;
- розробити архітектуру, функціональну схему і описати алгоритми роботи комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього руху;
- розробити, промодельовати і протестувати програмні коди і апаратні засоби для підвищення ефективності комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку.

Загалом пояснювальна записка до даної бакалаврської роботи складається з вступу, трьох розділів, заключної частини, списку літератури і одного додатка з охорони праці. Обсяг і структура роботи: 64 сторінки (52 – основний текст); рисунків – 29; джерел використаної літератури – 15; 1 додаток на 7 сторінках.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МІСТ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ INDUSTRY 4.0

1.1 Необхідність і перспективність розробки комп'ютерно-інтегрованої технології контролю вуличного трафіку

Протягом останнього часу дуже актуальним питанням в транспортній галузі є ефективний контроль і моніторинг дорожнього трафіку. Проте в даний час більшість центрів управління дорожнім рухом і вуличним трафіком під час відстеження, попередження та генерування рішень на різні дорожньо-транспортні ситуації покладаються на диспетчера людину-оператора. Але такий підхід є недостатньо ефективним через те, що для глобальних дорожніх мереж дана процедура є досить трудомісткою та доволі дорогою, а людина схильна допускати суб'єктивні помилки і неточності в роботі.

В останнє десятиріччя відзначається динамічне зростання попиту на комп'ютерні інтелектуальні системи і цифрові адаптивні технології, які здійснюють контроль за поточною інфраструктурою, та які використовують в своєму складі датчики, камери відеоспостереження, зонди та інші пристрої, що дозволяють автоматизувати процедури моніторингу за дорожнім рухом.

Системи спостереження, які основані на використанні методів штучного інтелекту, спроможні ефективно керувати трафіком, отримувати доступ до нагляду за поточними дорожніми ситуаціями. Таким чином, це надає можливість значно зменшити кількість негативних явищ під час дорожнього руху.

Також під час використання подібних автоматизованих систем і комп'ютерних технологій виявляється можливим оперативна ідентифікація транспортних засобів і встановлення його показників і характеристик задля аналізу умов водіння, що є небезпечними.

Ще одним важливим призначенням таких систем є можливість виявлення нерухомих транспортних засобів, які можуть перешкоджати трафіку в міських і позаміських умовах, а отже диспетчери здатні досить швидко реагувати на подібні ситуації, що виникають на дорозі, та впливати на ефективність відновлення трафіку до нормального стану. Таким чином, автоматизовані системи і комп'ютерно-орієнтовані технології моніторингу дорожнього трафіку є дуже необхідними для зменшення людського фактора та впливу на появу заторів і інших негативних ситуацій на вулицях і дорогах.

З урахуванням умови інтенсивного росту населення світу збільшується також і число транспортних засобів, і кількість пішоходів, а тому актуальним є питання створення і впровадження технології спостереження міського руху для мінімізації локалізації вузьких місць у транспортному русі та заторів. Отже, високим пріоритетом характеризується завдання проектування комп'ютерно-інтегрованої технології моніторингу і керування вуличним трафіком під час вияву заторів у режимі реального часу, а також така цифрова система повинна сповіщати про можливість перевантаження доріг на ранній стадії і надавати можливість зменшення довжини черги транспортних засобів, зменшуючи тим самим кількість негативних випадків і сприяючи більш плавному і динамічному перебігу дорожнього руху.

Найбільш універсальною та ефективною системою моніторингу трафіку на сьогодні є така система, що здатна виявляти, локалізувати і оптимізувати ситуації, які пов'язані з можливим виникненням дорожньо-транспортних пригод, заторів і великим скупченням нерухомих транспортних засобів. Системи автоматизованого виявлення подібних ситуацій і аномалій обумовлюють ряд технічних труднощів через свою необхідність функціонувати в режимі реального часу 24 / 7, у різних ступенях динаміки дорожнього руху і за різних погодних умов.

Існуючі центри диспетчеризації і управління трафіком багато коштів витрачають на наймання і оплату праці персоналу для моніторингу і керування дорожнім рухом, а отже автоматизовані системи із алгоритмами на базі

штучного інтелекту є значно ефективнішими з техніко-економічної точки зору під час моніторингу вуличного трафіку. Хоча також потрібно розуміти, що і такі автоматизовані системи ще не досягли повної автономності в контролюванні руху без втручання оператора, але можуть досить добре працювати з деяким ступенем автоматизації.

Процес контролю дорожнього трафіку є досить схильним до людських суб'єктивних помилок і значно трудомістким. Для людей-операторів у центрах диспетчерського керування трафіком складає важкість постійний динамічний нагляд за транспортними засобами з наступних причин: аварії, затори, висока інтенсивність руху одночасно на декількох камерах відеоспостереження. Особливо в ті моменти, коли оператор повинен стежити за трафіком повну зміну, яка складає від 6 до 8 годин, а отже ретельність спостереження не завжди може бути однаково високою [1].

На рисунку 1.1 показано, яким чином відбувається диспетчерський автоматизований моніторинг вуличного трафіку в більшості центрів керування [2].



Рисунок 1.1 – Процес диспетчерського автоматизованого контролю за дорожнім рухом у типовому цифровізованому центрі управління

Сучасні диспетчерські центри цифрового управління вуличним трафіком мають різні специфічні сторони діяльності, які пов'язані з дорожнім рухом, що обов'язково прив'язані до оперативної інформації про час транспортного засобу в дорозі, швидкість і його локацію, а також погодні умови. Основною задачею такого моніторингу є локалізація і попередження виникнення вузьких місць перевантаження доріг і вулиць транспортними засобами. Автоматизована технологія контролю з використанням алгоритмів на базі штучного інтелекту здатна виявити і спрогнозувати виникнення заторів на дорогах. Таким чином, зменшується необхідність у постійному відеоспостереженні людиною-оператором для того, щоб виявити вуличні затори.

В даній роботі технологія, що проєктується, має працювати у фоновому режимі потоків відео, сигналів від датчиків на вулицях і транспортних засобах з наступним автоматичним групуванням інформації. При використанні алгоритмів глибинного машинного навчання система здатна адекватно працювати при різних обсягах даних і умовах зовнішнього середовища.

Діяльність під час моніторингу вуличного трафіку, що включає також виявлення і прогнозування аномальних ситуацій є достатньо трудомісткою та пов'язана з постійним моніторингом людиною, а отже є і доволі дорогим варіантом. Таким чином, для постійного контролю і перевірки трафіку задля зниження витрат необхідна часткова (в ідеалі – повна) автоматизація виявлення аномалій у дорожньому трафіку. Комп'ютерно-орієнтована технологія, що розробляється, має також базуватись на концептуальних рішеннях цифровізації Industry 4.0, що надає їй змогу інтегруватись до глобальних цифрових рішень розумних міст.

Також діяльність під час контролю кількості транспортних засобів і оцінки щільності руху на ділянках доріг апріорі не може бути точно і оперативно проведена за допомогою людей-диспетчерів, а отже вимагає використання засобів і методів штучного інтелекту. Це стосується також аналізу відео про дорожній рух одночасно з декількох камер відеоспостереження в режимі реального часу 24 / 7. Саме тому, простежується

тенденція необхідності відання переваги автоматизованим комп'ютерним систем виявлення, що здатні виконувати точний і своєчасний аналіз великих об'ємів даних на предмет виявлення і зменшення негативних ситуацій на дорогах, які можуть скластись.

Дослідження, що планується виконати в даній бакалаврській роботі, надає можливості розробки і впровадження надійної комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку на основі штучного інтелекту, в якій використовується найсучасніші алгоритми глибокого навчання. Таким чином, запропонована система здатна контролювати трафік в тому числі виявлення заторів, виконання підрахунку транспортних засобів, виявлення аномалій руху тощо.

Таким чином, основною метою роботи є розробка і проєктування автоматизованої комп'ютерно-інтегрованої технології за дорожнім рухом у цифровому режимі реального часу, яка використовує засоби інтелектуальної обробки значних об'ємів даних. Це дозволить автоматизувати ряд таких задач, як: виявлення, прогнозування, локалізація, класифікація і підрахунок транспортних засобів, а також заторів та інших аномальних ситуацій.

1.2 Аналіз комп'ютеризованих методів виявлення заторів під час дорожнього трафіку

З метою заощадження часу та економії коштів, а також одночасного підвищення показників безпеки на дорогах, центри диспетчерського управління трафіком повинні використовувати автоматизовані системи цифрового контролю дорожнього руху. Процес моніторинг трафіку та перевірка можливості виникнення дорожньо-транспортних пригод здійснюється за допомогою широкого ряду і спектру вмонтованих до інфраструктури міст інтелектуалізованих камер відеоспостереження.

Існуючі системи і технології, які використовуються на сьогоднішній день,

як правило, в більшості своїй призначені для вирішення окремих задач спостереження за дорожнім рухом, тобто не покривають повний перелік задач, які ставляться перед центрами управління дорожнім трафіком. Повне спостереження за дорожніми ситуаціями, що базуються на технологіях штучного інтелекту, Інтернету речей і Industry 4.0, спроможні виконувати одночасно декілька завдань, таких як, наприклад: виявлення заторів, аналіз швидкості і поведінки на дорозі транспортних засобів, загальний контроль дорожнього руху і прогнозування аномальних умов.

В останній час спостерігається досить стрімке зростання населення на Землі і це, в свою чергу, активізує процес швидкої глобальної урбанізації і індустріалізації. Отже, закономірним є те, що Департамент США у галузі перевезень висуває гіпотезу про те, що системи цифрового диспетчерського управління дорожніми ситуаціями повинні швидко виявляти і сповіщати про це оперативні групи реагування під час виникнення заторів, що може тим самим значно оптимізувати дорожній рух, зменшуючи при цьому довжину черг та покращувати рух у цілому [3].

Деякі групи дослідників пропонують застосовувати підходи, що засновані на використанні сучасних технологій навчання на основі машинного інтелекту на великих вибірках реальних даних. Для подальшого ефективного виявлення і відстеження можливих заторів на дорогах. Для вирішення зазначеної задачі необхідно розуміти, яким чином протікає дорожній трафік, та що буде короткостроковими і довгостроковими наслідками після виникнення заторів за різноманітних умов.

Для автоматизованого комп'ютерного моніторингу дорожнього трафіку у великому масштабі важливо, щоб технологія і її системна реалізація були масштабованими і децентралізованими, а також забезпечували можливість зв'язку в режимі реального часу з диспетчерським пунктом управління щодо параметрів руху.

На початку 1990-х років авторами-дослідниками вперше було запропоновано до використання штучну нейронну мережі під час вирішення

задачі моделювання потоку дорожнього трафіку і виявлення заторів. Дана система складалася з одного вхідного шару нейронів, одного вихідного шару (цілі) і одного прихованого шару штучних нейронів [4] (див. рис. 1.2). Як виявилося потім, то така структура мережі надавала досить високе значення точності під час аналізу точного часу подорожі і прогнозуванні можливого характеру динаміки транспортних потоків. Проте для більшості технічних додатків, які містять великі набори вхідних розподілених даних, така модель була недостатньо ефективною.

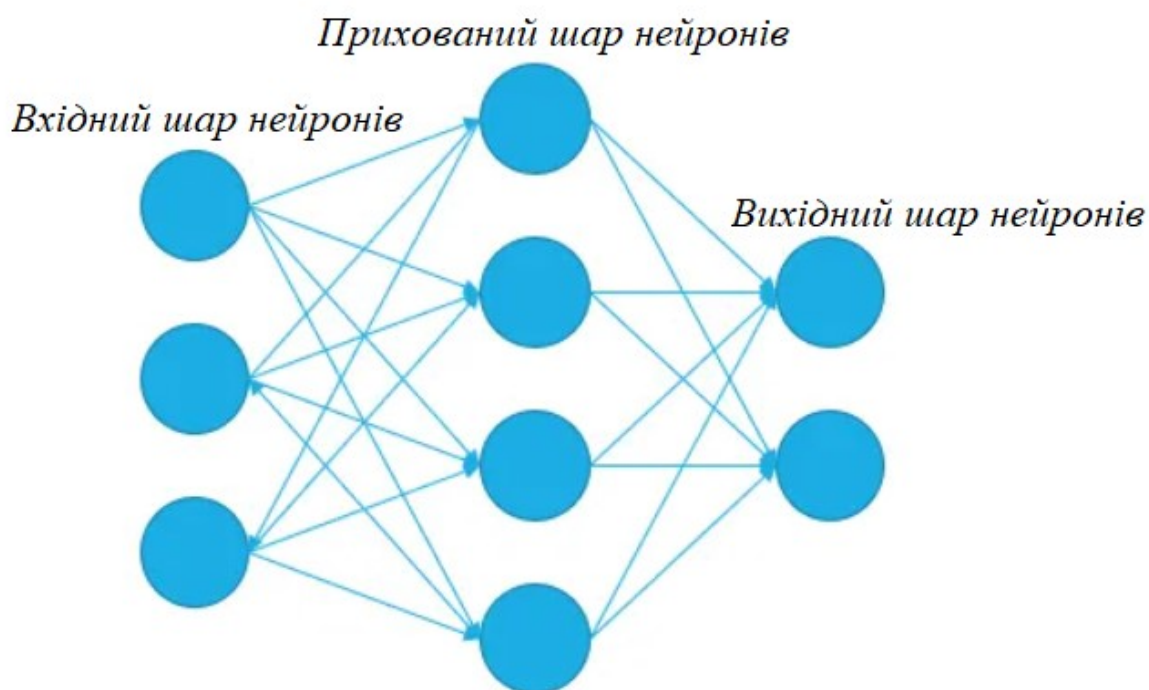


Рисунок 1.2 – Штучна нейронна модель, яку використовували автори-дослідники в роботі [4]

Під час досліджень із вивчення параметрів перенавантаження доріг і потоків трафіку одношарові нейронні мережі з плином часу поступилися методиці глибинного навчання. Дослідники в цій галузі запропонували автоматизовану штучну нейронну мережеву модель для інтелектуального комп'ютерного аналізу просторово-часових даних про дорожній трафік. На першому етапі досліджень дана модель для аналізу просторово-часових

параметрів має використовувати нейронну мережу згорткового типу. На другому етапі – за рахунок використання вихідних даних із першого етапу, має здійснюватися навчання нейронної мережі за рекурентною методикою. Це оптимізує вирішення задачі щодо повної класифікації послідовностей вхідних даних за мінімальний час. Така модель може бути використана у процесах вивчення і аналізу транспортних потоків і прогнозування можливих заторів, як показано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Модель глибинного навчання комп'ютерної моделі про дорожній трафік

Дослідження, які виконувались відносно нещодавно, використовують в якості основного інформативного параметру значення передбачуваної швидкості руху транспортних засобів для локалізації дорожніх заторів. У випадку, коли реальна поточна швидкість транспортного засобу є нижчою, ніж прогнозована, то з певною довірчою вірогідністю має бути зафіксований стан виникнення затору. Дану систему було запропоновано будувати також на основі алгоритмів глибокого цифрового навчання, яка заснована на використанні штучної нейронної мережі зі структурною організацією рекурентної згортки для постійного і оперативного прогнозування динаміки швидкості руху транспорту. Таким чином, за допомогою такої технології стає можливим ефективно визначення джерел ймовірних заторів на дорогах міст.

Також варто зазначити, що технічні пристрої типу мікрохвильових радарних датчиків і петльових детекторів використовуються в більшості сучасних систем для виявлення ймовірних дорожніх заторів і цифрові дані від

таких пристроїв про дорожній рух отримуються у режимі реального часу. Потім за рахунок використання алгоритмів, які визначають початок процесу перенавантаження на основі оцінки співвідношення швидкості / обсягу та зайнятості доріг генеруються відповідні дані в потоковому режимі, що дозволяє їх аналізувати досить оперативно.

Також на теперішній час дослідниками були запропоновані і добре вивчені моделі, у яких оціночне значення показника перевантаженості доріг або довжини затору визначалися з використанням комбінованих даних від детекторів дорожнього руху. В широкому ряді наукових робіт були рекомендовані до впровадження системи і технології виявлення локалізації кінця заторів через вхід відповідного транспортного засобу з високою роздільною здатністю, до яких були інтегровані алгоритми, що базуються на теорії ударних хвиль. Через обмежені показники оперативності традиційних датчиків руху, які використовуються під час збору інформації про поточний трафік, в останній час набувають все більшої популярності, так звані, фреймворки виявлення перевантажень на основі інтелектуального цифрового автоматичного аналізу інформації у вигляді відео або графічних зображень. Яскравим представником середовища розробки багатoshарової нейронної мережі за моделлю багаторазової згортки є GoogLe Net, як показано у вигляді діаграми на рисунку 1.4. Додатковою перевагою даного підходу до аналізу ситуацій про дорожній трафік за допомогою штучного інтелекту є можливість використання індивідуальних глибинних підмереж.

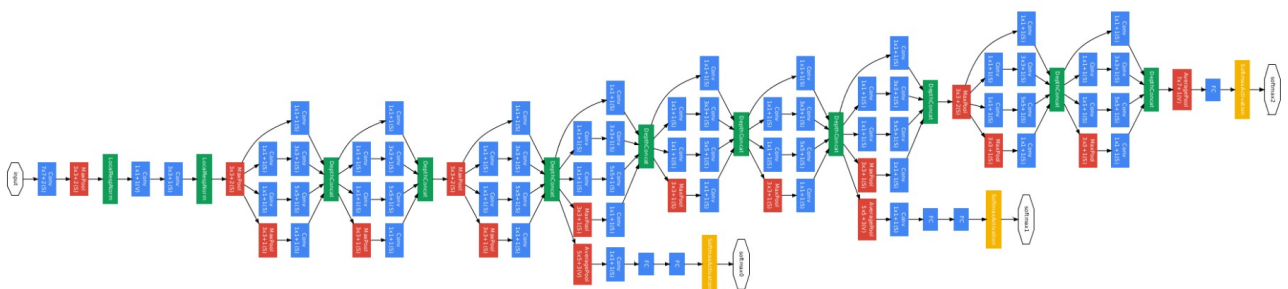


Рисунок 1.4 – Структура моделі фреймворку глибинного навчання про аналіз ситуацій щодо дорожнього трафіку

Отже, в результаті проаналізованої ситуації в даному підрозділі, можна стверджувати, що більшість систем і технологій для автоматичного комп'ютерно-орієнтованого контролю дорожнього руху в цифровому режимі на сьогоднішній день базуються на факті ефективного аналізу даних про значну кількість параметрів на транспортних засобах [5].

1.3 Аналіз комп'ютерно-орієнтованих методів локалізації транспортних засобів

При розробці технологій та проєктуванні системи автоматизованого контролю за дорожнім рухом важливою складовою є цифрова локалізація та встановлення транспортних засобів на конкретній ділянці дороги. В зв'язку з тим, що сучасним технічним пристроям властива висока швидкість реалізації моделі обчислень, які використовують алгоритми глибокого машинного навчання, то стає можливим навчання системи щодо виявлення транспортних засобів і складання графіків та / або таблиць підрахунку динаміки зміни транспорту в цифровому режимі реального часу.

Останнім часом на ринку подібних технологій було представлено як класичні, так і нетрадиційні методи виявлення і аналізу руху транспортних засобів. Автоматизована комп'ютерно-орієнтована система, що здатна виявляти та відстежувати рухомі транспортні засоби в умовах слабкого освітлення або в нічний час, була впроваджена до широкого використання. За основу в такій системі було взято віртуальний цикл і зведення кількості транспортних засобів, що рухаються в різному потоці за певними категоріями, до таблиці.

Використання різних технік обробки зображень і DSP-плат призвело до значної оптимізації техніки автоматичного підрахунку транспортних засобів у змінному русі.

Сучасні методи підрахунку умовно поділяються на такі:

- оцінювач щільності потоку транспорту;

– лічильник екземплярів транспортних засобів.

Характерний принцип роботи першої групи засобів (оцінювачів щільності) базується на інстинктивній роботі, що полягає в намаганні створити наближення параметру щільності для підрахованих транспортних засобів, а потім виконати процедуру їх асиміляції за оціненою щільністю. Як правило, дана методика не потребує значної вибірки зразків навчальних даних. Щодо другої групи пристроїв (лічильників екземплярів), то такі засоби локалізують кожен автомобіль, а вже після цього здійснюють підрахунок локалізованих транспортних засобів. Проте для даних пристроїв може мати місце наступна ситуація, коли всі графічні зображення потрібно ретельно аналізувати піксель за пікселем для створення чіткої локалізації, адже автоматизований детектор зображень цифрових даних може відпрацювати не завжди правильно у зв'язку з перекриттям об'єктів під час зйомки.

Також широкі і глибокі дослідження отримали задачі виявлення, відстеження і розпізнавання транспортних засобів у різних місцях під час дорожнього руху. В роботі науковців Чіу та ін. авторами була запропонована інтелектуальна система автоматизованого моніторингу трафіку, яка на підставі графічних зображень дорожнього руху спроможна розпізнавати, виявляти і відстежувати будь-які типи транспортних засобів. У ній застосовано принцип і відповідні алгоритми сегментації об'єктів під час руху [6]. За допомогою зазначеного підходу стало можливим відокремлення рухомих транспортних засобів від тих, що є нерухомими. Це було зроблено за допомогою впровадження до системи методики сегментації, що під час класифікації виду транспортного засобу використовує ті чи інші геометричні особливості конкретних транспортних засобів на вулиці. Дана модель системи є досить надійною під час виявлення транспортних засобів, які могли б залишитися непоміченими при різних сценаріях руху в реальному часі.

Даний принцип виявлення рухомих і нерухомих транспортних засобів під час дорожнього трафіку, а також інших об'єктів, які знаходяться на дорозі або вулиці, наведений на рисунку 1.5 [7].



Рисунок 1.5 – Приклад графічної сегментації транспортних засобів під час дорожнього трафіку

Ще одним цікавим прикладом розробки систем контролю трафіку на дорогах є алгоритм глибинного навчання, який використовує дані, що в режимі реального часу надходять з безпілотних літальних апаратів для оцінки характеру рухомої динаміки транспортних потоків [8]. Така модель для різних умов руху транспортних засобів давала дуже високі оцінки і в середньому становила на рівні 95 %.

Для оцінки кількості і виявлення рухомих транспортних засобів вночі або за погодних умов (туман, сильний дощ) слабого освітлення було розроблено систему з адаптивним фоновим фільтром на основі техніки аналізу 2D зображень [8].

Також у якості прикладу ефективних подібних систем можна навести технологію з використанням статистичного методу, який здійснює оцінку на основі процедури кореляції для встановлення кількості транспортних засобів на дорогах міста через затори за допомогою камер відеоспостереження. Під час технічної реалізації такого методу було обрано дві можливі методики.

Таким чином, більшість із сучасних комп'ютерно-орієнтованих методів цифрової локалізації транспортних засобів використовують метод комп'ютерного нейронного опрацювання графічних зображень, які надходять до диспетчерських центрів від вуличних камер відеоспостереження і відрізняються лише способами обробки зображень.

1.4 Відомі методи виявлення аномальних ситуацій під час дорожнього трафіку

Для скорочення часу, який потрібен для оперативного і якісного реагування на дорожні ситуації, та зменшення вірогідності виникнення заторів та інших негативних ситуацій важливо швидко на ранніх стадіях локалізувати аномальні умови дорожнього руху. До таких ситуацій, наприклад, можна віднести аварії або транспортні засоби, що застрягли чи зламалися. Для комп'ютерно-орієнтованої системи, що призначена для цифрового виявлення аномалій під час дорожнього руху, однією з найважливіших характеристик є здатність виконувати аналіз динамічного глобального потоку транспортних засобів і локальний диференційований аналіз поведінки кожного транспортного засобу на дорозі.

Для більшості систем локалізації аномальних інцидентів, як правило, в основному використовуються точкові датчики різних дорожніх показників, проте сфера їх застосування є досить тривіальною для технологій виявлення аномалій.

Так як сучасні системи, які базуються на методах комп'ютерного зору, мають широку можливість розпізнавання образів, то вони отримали дуже широке використання в усьому світі. За допомогою таких технологій отримують інформацію щодо порушень правил дорожнього руху, виникнення аварій, заторів та інше.

Задачі прогнозування і класифікації аномальних ситуацій під час

дорожнього руху в різних умовах стали можливими до вирішення за допомогою створення алгоритмів виявлення аномалій, який був запропонований і детально досліджений автором-науковцем Thajchayarong. Дана технологія обробки графічних зображень була взята за основу і розвинута науковцем Ikeda під час автоматичного виявлення аномальних дорожньо-транспортних ситуацій. Така система здатна відмінно виявляти чотири різні види порушень дорожнього руху.

Інший досить апробований алгоритм виявлення аварій на дорогах і вуличних заторів використовує функції безпосередньо транспортних засобів, що рухаються, задля автоматичного виявлення і запису моментів аварій до та після неї. Фото, які робить така система, можуть бути використані в якості інформації для диспетчерських центрів керування трафіком для подальшого їх аналізу. Ця система має ряд переваг у порівнянні з іншими аналогічними, так як при її використанні реалізується повністю автоматичне і автономне виявлення, реєстрація і формування звіту щодо дорожньо-транспортних пригод. Таким чином, ці дані в наступному можуть використовуватись для виявлення небезпечних місць на дорогах і оптимізації режимів руху на тих чи інших ділянках доріг.

Також на сьогодні відомим є використання деякими системами алгоритмів, що одночасно опрацьовують дані з кількох камер у вигляді системи відеодатчиків для ідентифікації та класифікації рухомих і нерухомих транспортних засобів та інших нерухомих об'єктів на дорогах. Також вже технічно здійснено відстеження транспортних об'єктів на основі інтеграції технології комп'ютерного бачення з функціями Intersection Over Union. Такий підхід дає змогу до онлайн спостереження за кількома об'єктами із високоточним масштабуванням зображень.

Деякі групи дослідників і інженерів також застосовують в своїх розробках інтерфейс взаємодії руху для ефективного цифрового аналізу аномальної поведінки транспортних засобів при дорожньому трафіку, який здатен прогнозувати виникнення аварійних ситуацій.

Отже, описані вище технології доводять нагальну необхідність використання в системі, яка проєктується, технічних засобів, за допомогою яких можна реалізувати цифрову відео фіксацію транспортних засобів під час дорожнього і вуличного міського руху.

1.5 Висновки

Дослідження, які були проведені в даному розділі роботи, дозволили вирішити задачу з аналізу відомих сучасних тенденцій розвитку комп'ютерно-орієнтованих систем і технологій із цифровізації міст на основі високоефективної концепції Industry 4.0, а саме:

- була доведена необхідність і встановлена перспективність розробки комп'ютерно-інтегрованої технології автоматизованого цифрового контролю вуличного трафіку;

- був виконаний аналіз відомих комп'ютеризованих методів і систем виявлення транспортних заторів під час дорожнього трафіку;

- був виконаний детальний аналіз комп'ютерно-орієнтованих методів і систем для локалізації транспортних засобів на дорогах і міських вулицях за різних погодних умов.

- був проведений аналіз відомих систем і методів щодо виявлення аномальних ситуацій, які можуть виникати під час дорожнього трафіку на різних типах доріг.

2 КОМПОНЕНТИ, АРХІТЕКТУРА І АЛГОРИТМ РОБОТИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ДОРОЖНЬОГО ТРАФІКУ

2.1 Розробка архітектури і функціональної схеми комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку

Важливим моментом при розробці та пошуку шляхів з удосконалення системної будови комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку є розуміння того, для чого ця технологія створюється і де вона буде використовуватись. Головним фактором є не створення надскладної і надпотужної технології, а є те, що необхідно розробити таку архітектуру і алгоритми її роботи, а також обрати компоненти технології, які є доступними і бюджетними на ринку в багатьох країнах світу. Це призведе до того, що така технологія буде максимально дешевою, надійною і зручною у використанні.

Глобально функціональну схему комп'ютерно-інтегрованої технології, яка вдосконалюється можна представити наступним структурним підходом, як показано на рисунку 2.1.

До складу сучасної комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку на основі Industry 4.0 обов'язково мають входити наступні компоненти (блоки):

- фізичний рівень пристроїв збору та передачі даних про контрольовані характеристики і параметри транспортних засобів, які є безпосередніми учасниками дорожнього трафіку;

- програмні технології (компоненти) обробки даних, які працюють в фоновому режимі онлайн 24 / 7.

- фізичний рівень сенсорів збору (агрегування) і передачі даних за допомогою бездротових (віддалених) технологій про додаткові впливові параметри (наприклад, погодні умови, наявність заторів та інше), які суттєвим

чином впливають на режими перебігу дорожнього трафіку.

– технічні і програмні засоби автоматичної диспетчеризації отриманої інформації з використанням хмарних технологій і мобільних застосунків;

– програмні комп'ютерні і мобільні інфокомунікаційні засоби та технології щодо оптимізації режимів перебігу дорожнього трафіку.

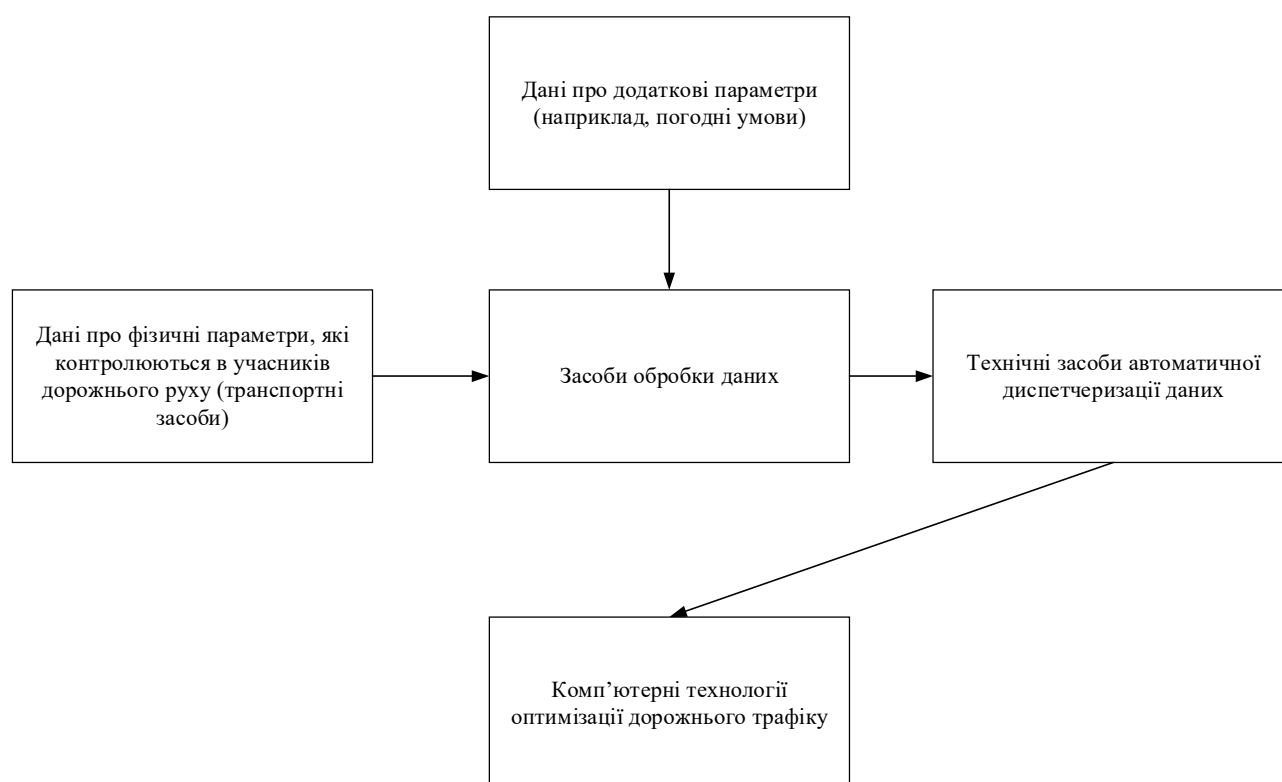


Рисунок 2.1 – Функціональна схема цифрової комп'ютерно-інтегрованої технології, яка вдосконалюється

До переліку основних завдань (базисних задач), які повинна виконувати комп'ютерно-інтегрована технологія цифрового контролю дорожнього трафіку, яка вдосконалюється в даній бакалаврській роботі, мають відноситись:

– бездротовий інфокомунікаційний комп'ютерний моніторинг параметрів рухомих транспортних засобів: швидкість руху і поточна геолокація;

– комп'ютерний інфокомунікаційний контроль погодних умов у бездротовому режимі та відеофіксація заторів на вулицях і дорогах;

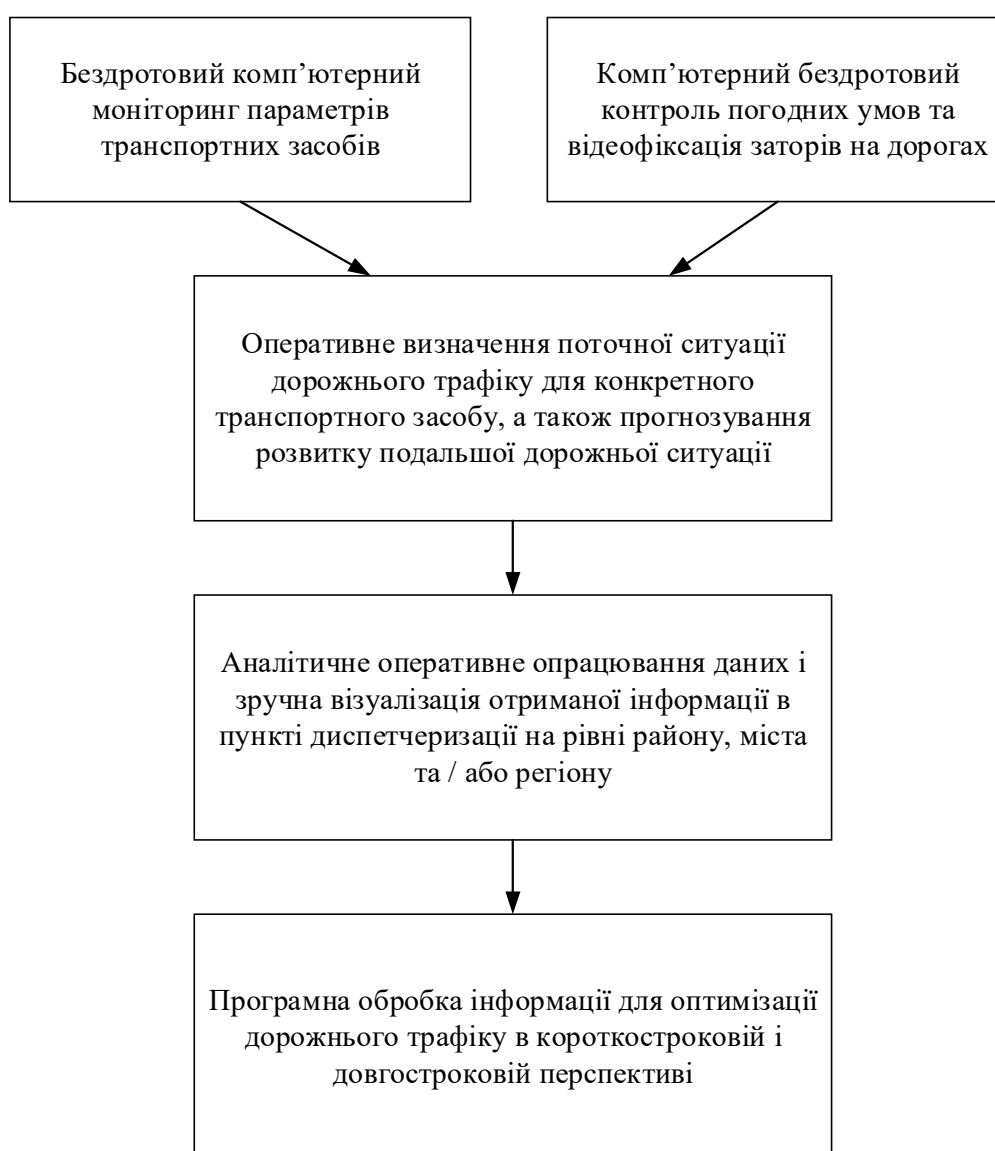
– оперативне визначення поточної динамічної ситуації дорожнього трафіку для конкретного транспортного засобу, а також прогнозування

розвитку подальшої дорожньої ситуації з прийняттям до уваги вищевказаних факторів і процесів;

– аналітичне (інтелектуальне машинне) оперативне опрацювання даних і зручна (бажано графічна) візуалізація отриманої інформації в пункті цифрової диспетчеризації на рівні району, міста та / або регіону;

– програмна обробка інформації для оптимізації дорожнього і вуличного трафіку в короткостроковій і довгостроковій перспективі.

Таким чином, алгоритм роботи удосконалюваної технології наведений на рисунку 2.2.



Рисунк 2.2 – Алгоритм дії комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку, що вдосконалюється в бакалаврській роботі

З урахуванням вищенаведених структури комп'ютерно-інтегрованої технології і її алгоритму дії була розроблена зв'язна архітектура програмних компонент і апаратних пристроїв даної технології, як показано на рисунку 2.3.

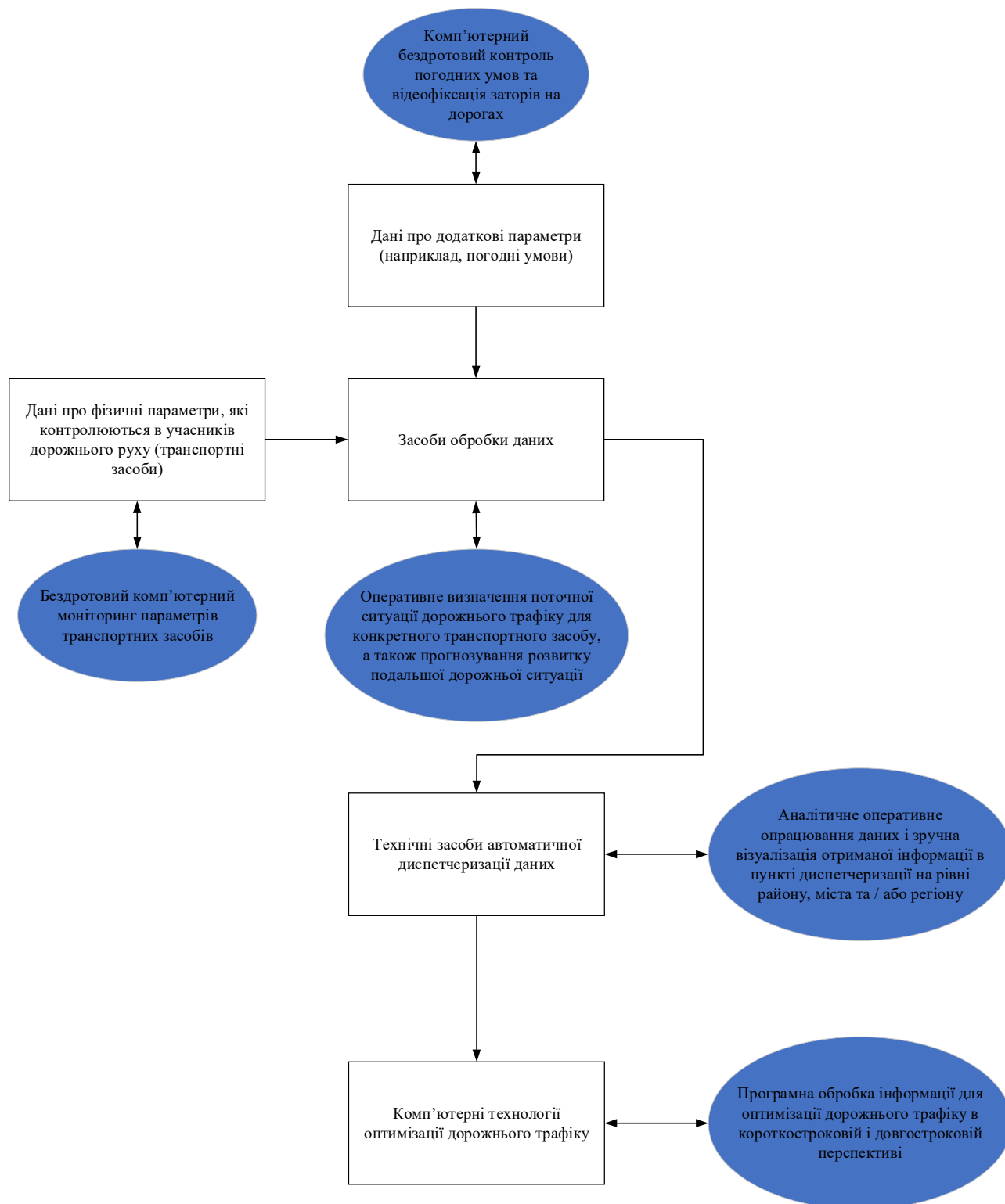


Рисунок 2.3 – Архітектура комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку

До основних характерних рис запропонованої зв'язної архітектури комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку (див. рис. 2.3) завдяки використанню концепції Industry 4.0 [9] можна віднести наведені нижче положення:

- використання дешевих (доступних на широкому ринку), серійних і бездротових сенсорів для оперативного збору комплексної інформації про транспортний засіб і додаткові фактори;
- повністю автоматизована аналітична (інтелектуальна) обробка даних;
- використання сучасних засобів SCADA-систем і подібних їй для зручної (графічної, інтерактивної) індикації даних;
- використання хмарних обчислень для додаткової (резервної) архівації інформації та зручного доступу до неї, що також дозволяє впровадити надійні алгоритми захисту даних;
- впровадження кіберфізичних підходів для віртуального резервування або копіювання об'єктів і можливості формувати і приймати оптимізаційні рішення в децентралізованому форматі;
- наявна можливість оперативного віддаленого обміну даними про поточну і прогнозовану ситуацію дорожнього і вуличного трафіку між диспетчерським пунктом та безпосередніми учасниками дорожнього руху;
- можливим є масштабування та адаптації запропонованої цифрової технології до різних умов і режимів роботи.

Додатково важливо зазначити, що на ефективність розробки і використання вдосконаленої зв'язної архітектури комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку, додатково впливають такі фактори [10], які необхідно обов'язково приймати до уваги під час подальшого розв'язання завдань із проектування і моделювання:

- типи і кількість апаратного обладнання (сенсори, аналогові перетворювачі, контролери, мережеві інфокомунікаційні модулі, інтелектуалізовані дорожні відеокамери, автономні погодні метеостанції і т.д.);
- якість покриття мобільною мережею і Інтернет у форматі 4 G або 5 G;

- уніфікованість і масштабованість SCADA-систем;
- доступність, ефективність і цільова відповідність хмарних сервісів;
- плановані масштаби реалізації і впровадження;
- гнучкість і зручність програмного забезпечення.

Отже, запропоновані і пророблені заходи з синтезу архітектури і проектування функціональної схеми комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку, є доцільними і рекомендованими для використання в наступних розділах бакалаврського дослідження.

2.2 Апаратні пристрої комп'ютерно-інтегрованої технології контролю дорожнього трафіку

Одним із основних апаратних пристроїв, який обов'язково має бути включений в структуру удосконаленої комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього і вуличного трафіку, є інтелектуальна камера для відеоспостереження з метою оперативної оцінки ситуації безпосередньо на дорозі за багатьма учасниками дорожнього руху в динаміці.

В цій роботі пропонується використовувати професійну спеціалізовану IP-відеокамеру Hikvision Speed Dome моделі DS-2DY9188-AIA [11]. Вид цієї IP-відеокамери, яку запропоновано використовувати, наведений на рисунку 2.4.

Даний різновид IP-відеокамери був вибраний на підставі врахування того, що вона відноситься до розряду систем мережного і системного позиціювання в цифровому режимі реального часу за будь-яких умов довколишнього середовища. А отже, декілька даних камер можуть бути об'єднані в типову мережеву сукупність дорожнього відеоспостереження задля покриття значної зони (район, місто і т.д.). Також ця модель камера дозволяє вести цілодобове відеоспостереження в жорстких (агресивних) погодних умовах (густий туман, сильний дощ, град або сніг) та в умовах слабкої (недостатньої) освітленості і світлопередачі зони спостереження, при цьому зберігаючи задовільну роздільну

здатність до (1080 x 1920) – 2 Мп. Додатковою перевагою цього різновиду камери є те, що вона відноситься до категорії роботизованих пристроїв і спроможна охоплювати зону спостереження на 360 градусів у динаміці.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вид професійної інтелектуалізованої IP-відеокамери Hikvision Speed Dome моделі DS-2DY9188-AIA [11]

Основне (заявлене фірмою-виготовлювачем) функціональне призначення і базові технічні характеристики цієї відеокамери є наступними [11]:

- придатність до монтажу на відкритому просторі й значної надійної тривалої роботи за агресивних погодних умов;
- наявність вбудованої матриця 1 / 1,9 дюйм. моделі CMOS Scan Progress;
- базове значення типового показника роздільної здатності матриці даної відеокамери – 2,0 Мп (1920 x 1080);
- наявність об'єктиву варіофокального типу з фокусною відстанню від 5,7 мм до 205 мм;

- кут огляду в статичному положенні до 58 град.;
- інтегрований 16-кратний зум цифрового типу і 32-кратний зум з оптичним типом роботи;
- вбудований пристрій для лазерного інфрачервоного досвітлення на граничній відстані до 200 м;
- корпус камери облаштований склоочисником і зроблений із пілозахисного матеріалу;
- базова підтримка форматів відео: GGI, PSIA, API і ONVIF;
- реалізується живлення від автономних акумуляторів (сонячних елементів) та / або від електричної мережі номіналом 24 В змінного струму;
- номінальна електрична споживана потужність відеокамери не перевищує 60 Вт.

Таким чином, за встановленими результатами аналізу параметрів IP-відеокамери Hikvision Speed Dome моделі DS-2DY9188-AIA було визначено її функціональну і технічну придатність до використання в удосконаленій комп'ютерно-інтегрований технології цифрового контролю вуличного і дорожнього трафіку.

Другим апаратним пристроєм удосконалюваної комп'ютерно-інтегрований технології цифрового контролю дорожнього трафіку, від якого отримується інформація про погодні умови є портативна комп'ютерна метеостанція. В даній роботі вибрано професійну модель Vantage Plus Pro 2 від фірми Davis Instruments [12]. Зовнішній вигляд конструкції метеостанції та мобільного операторського пульта наведено на рисунках 2.5 і 2.6.

До базового комплекту даної комп'ютеризованої промислової метеостанції Vantage Plus Pro 2 від фірми Davis Instruments входять [12]:

1. Користувацький блок консоль;
2. Блок фіксації кліматичних параметрів (датчик кількості рідких опадів, анемометр, датчик температури повітря, датчик вологості повітря, датчики ефективною сонячної радіації, датчик напрямку вітру і датчик ультрафіолету);
3. Силовий блок-адаптер для підключення метеостанції до загальної

електромережі живлення;

4. Сонячна панель і додатковий резервний акумулятор для кліматичного блоку.



Рисунок 2.5 – Вид операторського пульта Vantage Plus Pro 2 [12]

На рисунку 2.5 введені такі умовні числові позначки:

1 – 4, 7 і 8, 10 – 13, 15 – 18 – індикація результатів моніторингу параметрів за допомогою lcd-монітора портативного блоку-консоля;

5 і 6 – модуль-антена;

9, 14, 19 – кнопки керування і навігації в стандартному користувацькому меню портативного консоль метеостанції;

На рисунку 2.6 введені наступні умовні числові позначення:

1 – блок датчика напрямку вітру (одиниці вимірювання – градуси або румби горизонту);

2 – блок датчика-анемометра швидкості вітру (одиниці вимірювання – км / год., м / с, миль / год.);

3 – датчик (збірник) атмосферних рідких опадів (одиниці виміру – мм);

4 – вбудований індикатор рівня бульбашкового типу;

5 – блок захисту модуля напівпровідникових датчиків від дії сонячної радіації;

6 – датчик температури повітря (одиниці вимірювання – $^{\circ}\text{C}$) і датчик вологості повітря (одиниці вимірювання – від. од., %);

7 – датчик інтенсивності ультрафіолету і сонячної радіації (одиниці виміру – $\text{Вт}/\text{м}^2$, додатково – прогнозна оцінка дози і індексу радіації УФ);

8 – блоки-модулі дротового і бездротового підключення метеостанції;

9 – додатковий акумулятор резервного живлення;

10 – інтегрована сонячна батарея для ефективного живлення метеостанції.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд професійної портативної комп'ютерної метеостанції Vantage Plus Pro 2 від фірми Davis Instruments [12]

Таким чином, з урахуванням проаналізованих характеристик портативної промислової метеостанція Vantage Plus Pro 2 від заводу Davis Instruments з комп'ютерним віддаленим керуванням було доведено її спроможність використання в складі досліджуваної комп'ютерно-орієнтованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку для отримання оперативних даних про погодні умови в режимі 24 / 7.

Також, як вказувалось раніше в попередньому підрозділі роботи, в якості апаратного модуля комп'ютерно-інтегрованої системи цифрового контролю дорожнього трафіку задля відстеження поточної швидкості і даних про геолокацію транспортного засобу в динаміці потрібно використовувати засіб типу GPS-трекера. На теперішній час відомі та розповсюджені в широкому доступі багато функціональних моделей GPS-трекерів як дешевих серійних версій, так і більш коштовних промислових пристроїв для динамічного моніторингу транспортних засобів.

В даному випадку пропонується до використання модель пристрою GPS-трекера фірми Teltonika виду MSP 500 [13]. Ця модель запропонована до використання через ряд значних переваг, що будуть описані нижче. Зовнішній вид такої моделі наведений на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вид GPS-трекера фірми Teltonika моделі MSP 500 [13]

Електричну схему підключення даного GPS-трекера до загальної апаратної системи конкретного транспортного засобу наведено на рисунку 2.8 [13].

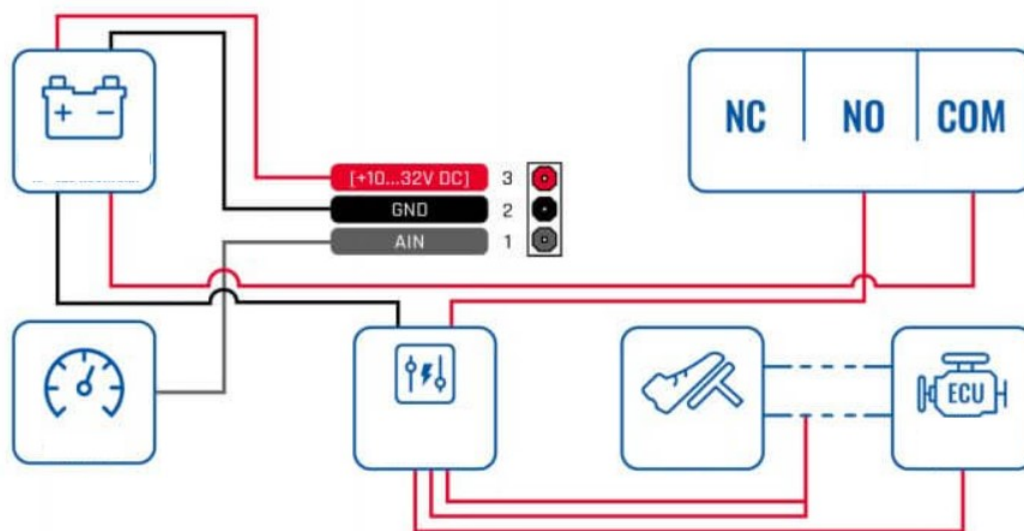


Рисунок 2.8 – Схема підключення GPS-трекера фірми Teltonika моделі MSP 500 [13]

До основних (базових) характеристик даного GPS-трекера фірми Teltonika моделі MSP 500 відносяться [13]:

- можливість передавання даних про поточну геолокацію та швидкість автомобіля;
- є функція примусового обмеження (зменшення) швидкості транспортного засобу на основі реле-перемикача живлення пального насоса;
- наявний інтегрований пристрій типу зумер;
- облаштований цифровим входом на базі стандартного інтерфейсу RS-232;
- підтримується можливість обміну даними за Bluetooth-технологією на коротких відстанях;
- є резервна додаткова внутрішня батарея живлення для надійної і стабільної довгострокової роботи;
- може працювати в широкому діапазоні напруги живлення до 30 В.

Основні характерні особливості GPS-трекера моделі MSP 500 є такими, що цей пристрій являє собою спеціальний технічний модуль для відстежування динамічних об'єктів із можливістю підключення за технологіями GSM і Bluetooth, який облаштовано внутрішніми антенами типу GSM та стандартним інтерфейсом RS-232, а також вбудованим Ni-Mh довговічним акумулятором.

Повний принцип дії описаної вище моделі GPS-трекера в графічному виді проілюстрований на рисунку 2.9.

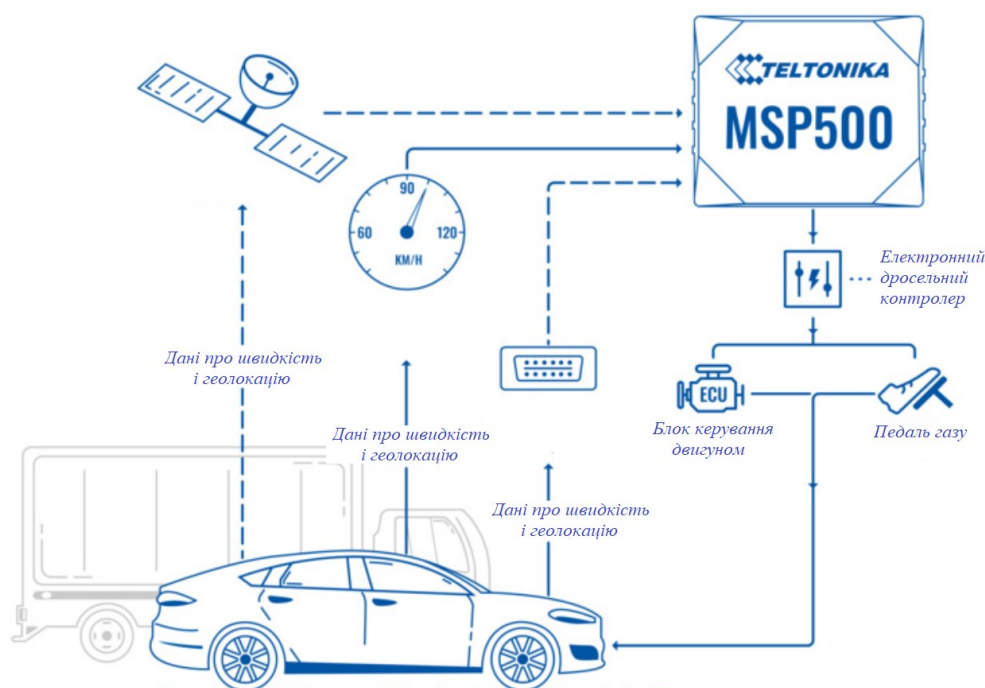


Рисунок 2.9 – Графічна інтерпретація принципу функціонування GPS-трекера фірми Teltonika моделі MSP 500 [13]

Таким чином, обрана і проаналізована модель пристрою для дистанційного бездротового контролю швидкості і динамічної геолокації транспортних засобів типу GPS-трекер Teltonika моделі MSP 500 є доцільною для використання в складі комп'ютерно-інтегрованих технологій цифрового контролю дорожнього трафіку.

Отже, наведені в даному підрозділі апаратні засоби і функціональні пристрої становлять базову основу під час створення комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку.

2.3 Програмні технології комп'ютерно-інтегрованої системи контролю дорожнього трафіку

На підставі критичного аналізу архітектури досліджуваної комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку в рамках поширеної і високоефективної технології Industry 4.0 (див. рис. 2.3) було встановлено необхідність і доцільність інтеграції до складу розробки в якості основних програмних засобів: спеціалізованої SCADA-системи та аналітичних сервісів хмарних технологій.

Типовий вигляд вікна диспетчеризації за допомогою спеціалізованих SCADA-технологій автотранспортного призначення наведений нижче на рисунку 2.10.

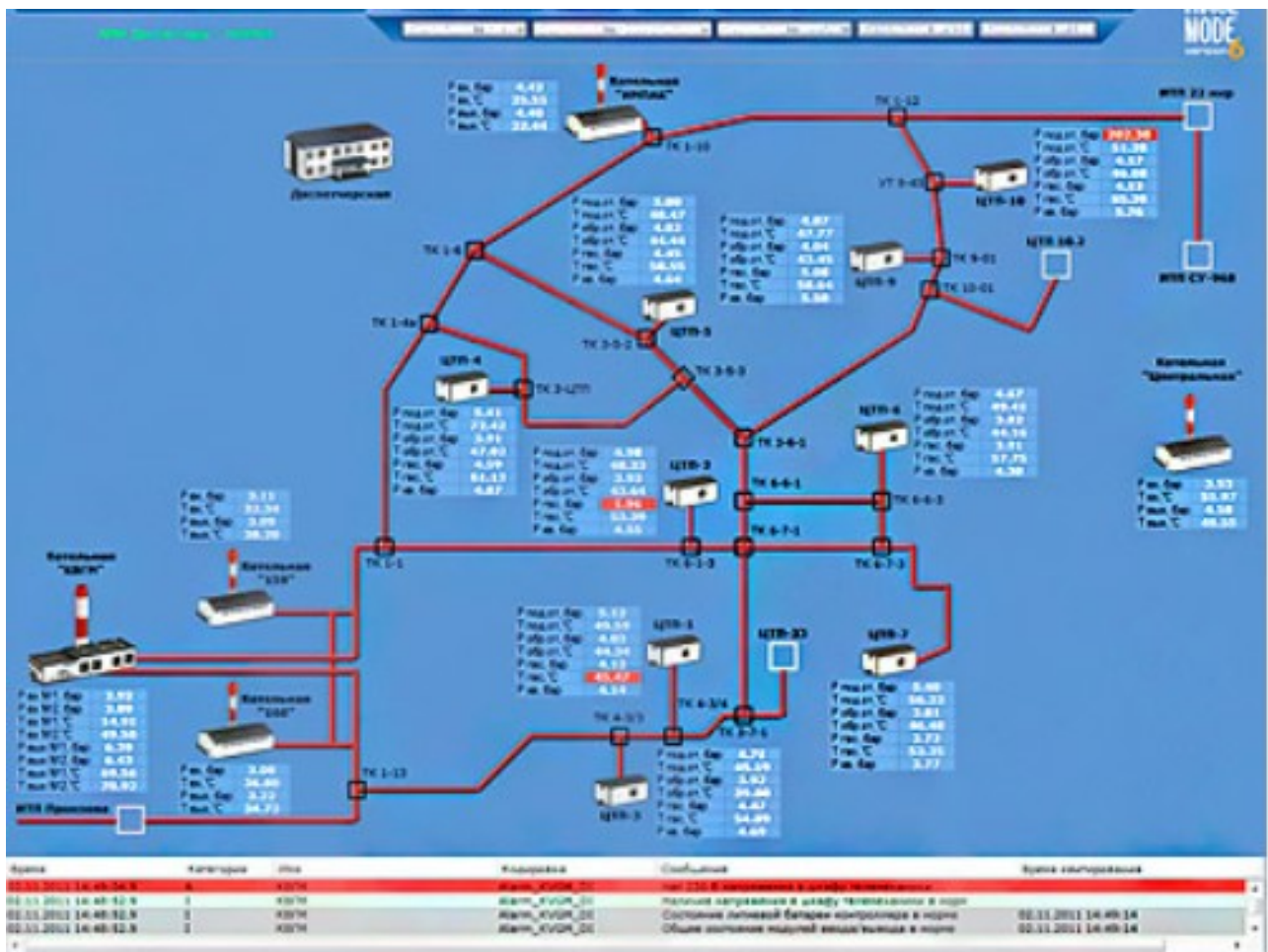


Рисунок 2.10 – Приклад роботи SCADA-системи автотранспортного призначення

Більшість промислових цифрових рішень SCADA-систем для інтерпретації і автономної диспетчеризації результатів контролю дорожнього трафіку є багаторівневими архітектурами з апаратних і програмних складових, як показано на рисунку 2.11.



Рисунок 2.11 – Рівні SCADA-систем автотранспортного призначення

Аналогічно з розвитком SCADA-систем дуже стрімко розвиваються спеціалізовані сервіси хмарних інтелектуальних технологій. Через те, що досліджувана комп'ютерно-інтегрована технологія цифрового контролю трафіку на глобальному рівні розглядається як одне з можливих рішень для

інфраструктури розумних цифрових міст і держав, то в даній роботі запропоновано використовувати хмарну платформу, яка є спеціалізованою і досить апробованою в усьому світі саме в галузі технологій для розумних міст. Даний сервер розроблений фірмою Huawei [14], як показано на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12 – Візуалізація принципу дії спеціалізованого хмарного сервісу від компанії Huawei

Основною перевагою сервісу хмарної аналітики від компанії Huawei (див. рис. 2.12) є відкритість і гнучкість крос-платформених рішень для більшості мобільних додатків і портативних пристроїв, на базі яких розгортається система інтеграції, що розширюється і адаптується під різні розроблені технології.

Впровадження описаних вище програмних засобів SCADA-систем і хмарних технологій в сукупності дозволяють удосконалити існуючі комп'ютерно-орієнтовані технології для цифрового контролю дорожнього трафіку та призвести до наступних позитивних моментів:

- модернізація програмно-технічної інфраструктури міст для інтелектуалізованого динамічного управління дорожнім рухом;
- значне скорочення часу перебування транспортних засобів в дорозі через оптимізацію маршрутів;
- адаптивне і віддалене керування пріоритетом в русі громадського і спеціального транспорту в цифровому режимі;
- скорочення шкідливих викидів від транспортних засобів за рахунок зменшення часу їх перебування в заторах;
- надання достовірної і своєчасної інформації міським і комунальним службам про поточний стан завантаженості доріг.

Таким чином, з урахуванням наведених вище даних про сучасні програмні рішення в галузі SCADA і хмарних технологій, що наведені в даному підрозділі роботи можна стверджувати про необхідність їх інтегрування до комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку, яка в свою чергу, може розглядатись як функціональний модуль глобальних інфраструктурних систем цифровізації розумних міст.

2.4 Висновки

В даному розділі була вирішена і описана задача бакалаврської роботи, яка полягала в критичному аналізі і виборі апаратних засобів і програмних

компонент, розробці архітектури та складанні алгоритмів дії комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку. Основні результати даного розділу такі:

- створена архітектура і розроблена функціональна схема комп'ютерно-інтегрованої технології інтелектуального цифрового контролю дорожнього трафіку з урахуванням концептуальних положень Industry 4.0 для цифровізації інфраструктури розумних міст;

- вибрані апаратні засоби для створення і впровадження комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку: GPS-трекер, портативна промислова метеостанція і роботизована IP-відеокамера;

- вибрані і детально описані програмні технології для побудови комп'ютерно-інтегрованої системи цифрового контролю дорожнього трафіку: SCADA-система автотранспортного профілю і спеціалізований хмарний сервіс від компанії Huawei.

З ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОНТРОЛЮ ДОРОЖНЬОГО ТРАФІКУ МЕТОДАМИ ПРОГРАМНОГО ТЕСТУВАННЯ І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Комп'ютерна модель технології контролю дорожнього трафіку на базі нечіткої логіки

В процесі роботи над вирішенням задачі розробки імітаційної моделі технології контролю дорожнього трафіку на базі нечіткої логіки було використано стандартизовану програму Matlab і Simulink, а саме її модульну підпрограму Designer Fuzzy Logic [15].

Дана нечітка модель побудована наступним чином:

- обрано входні параметри: динамічна завантаженість дороги, поточні погодні умови та швидкість руху транспорту;
- обрано вихідний параметр: поточна інтегральна дорожня ситуація.

Загальний вигляд розроблюваної імітаційної нечіткої моделі досліджуваної технології представлений на рисунку 3.1.

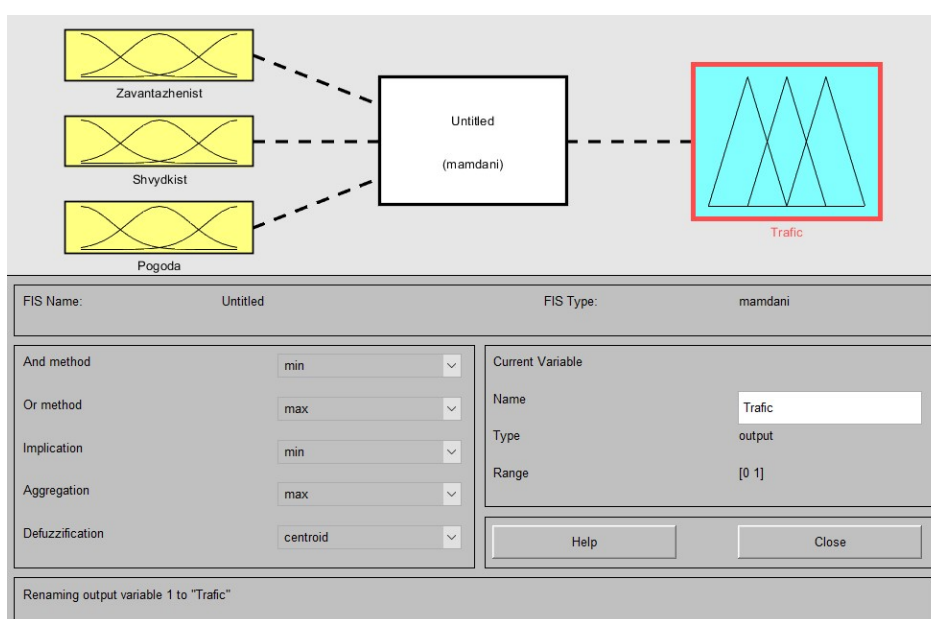


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд головного вікна розробки Fuzzy-моделі

Всі змінні в залежності від їх фізичних особливостей було фазифіковано і представлено в лінгвістичному виді наступним чином:

– завантаженість дороги (Zavantazhenist): вид функції – стандартний гаусівський розподіл (обраний на підставі того, що завантаженість доріг не є надто динамічною функцією і зазвичай змінюється плавно), кількість можливих станів (термів) – 3 (низька завантаженість, завантаженість у межах норми і надмірна перевантаженість дороги), як показано на рисунку 3.2;

– швидкість руху транспортних засобів (Schvydkist): вид функції – стандартний трапецієвидний (адже, можлива досить динамічна зміна параметру), кількість можливих діапазонів (термів) – 3 (повільний рух; рух у межах норми; досить швидкий рух), як показано на рисунку 3.3;

– погодні умови (Pogoda): вид функції – стандартний гаусівський (обраний за аналогією з вибором лінгвістичної змінної «Zavantazhenist» через неможливість стрімкої динамічної зміни), кількість можливих станів (термів) – 2 (в межах норми і відхилення від норм), як показано на рисунку 3.4.

– вихідна лінгвістична змінна «рівень трафіку»: вид функції – стандартний трапецієвидний, кількість діапазонів (термів) – 3 (низька щільність, у межах норми і значно перевантажено), як показано на рисунку 3.5.

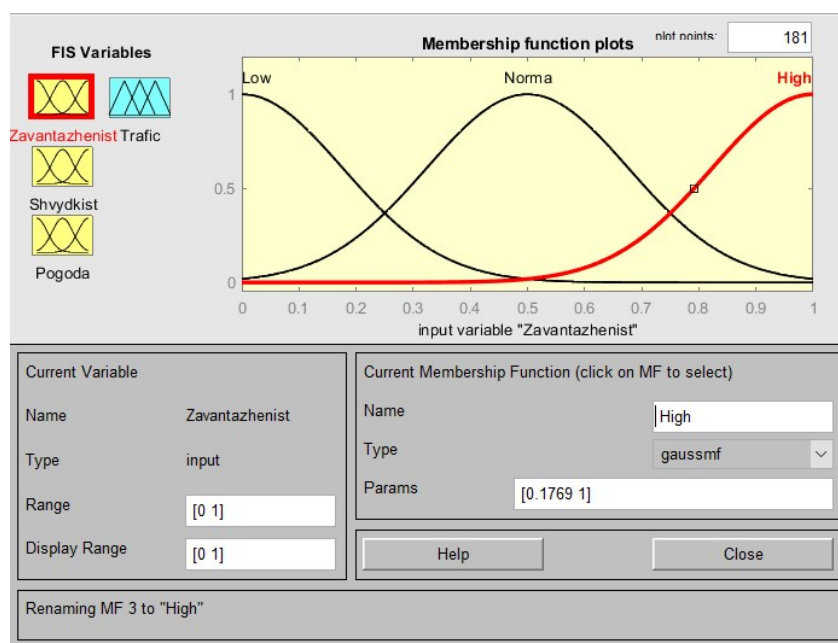


Рисунок 3.2 – Вікно фазифікації змінної «Завантаженість дороги»

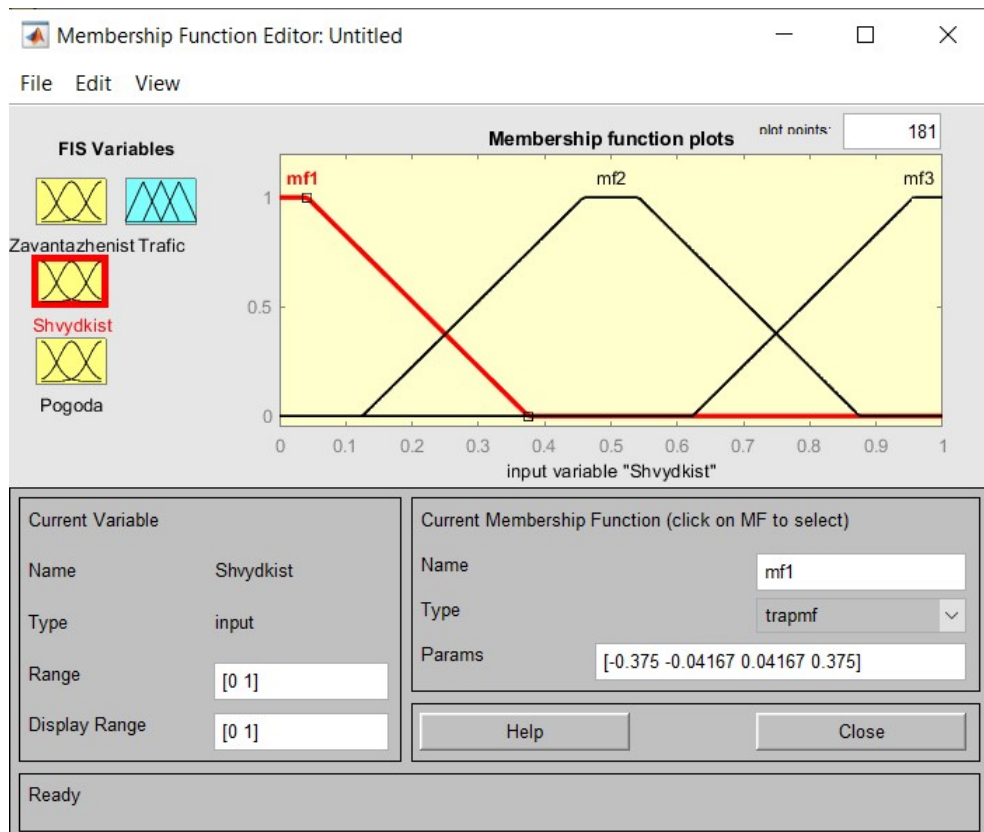


Рисунок 3.3 – Вікно фазифікації змінної «Швидкість руху»

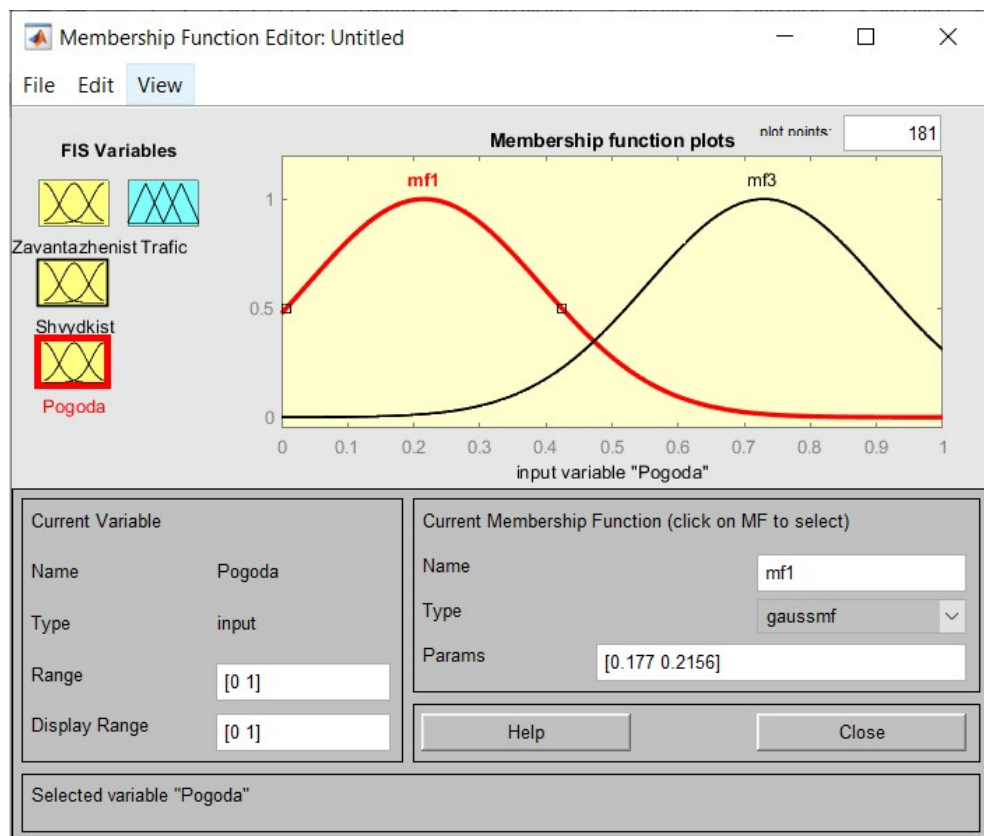


Рисунок 3.4 – Вікно фазифікації змінної «Погодні умови»



Рисунок 3.5 – Вікно фазифікації вихідної змінної «Рівень трафіку»

Представлені на рисунках 3.2 – 3.5 результати фазифікації лінгвістичних вхідних і вихідної змінної були використані в даній роботі під час розв’язання задачі синтезу керуючої бази правил, як це показано на рисунку 3.6.

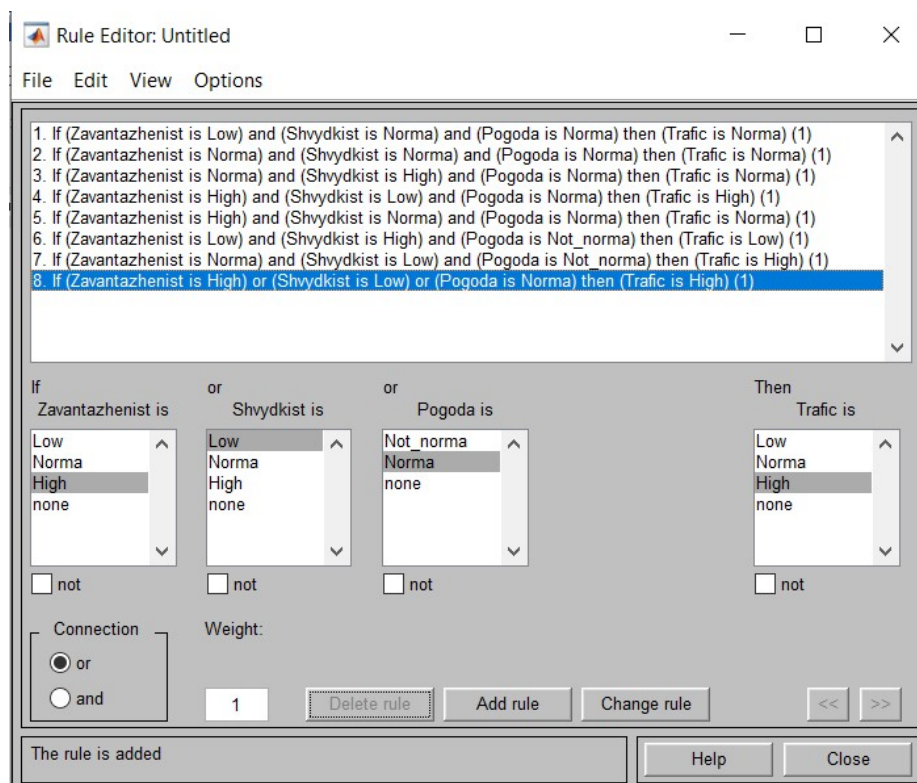


Рисунок 3.6 – Вікно синтезованої керуючої бази правил в термінах нечіткої логіки

Вікно графічного відображення бази правил для комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку наведено на рисунку 3.7.

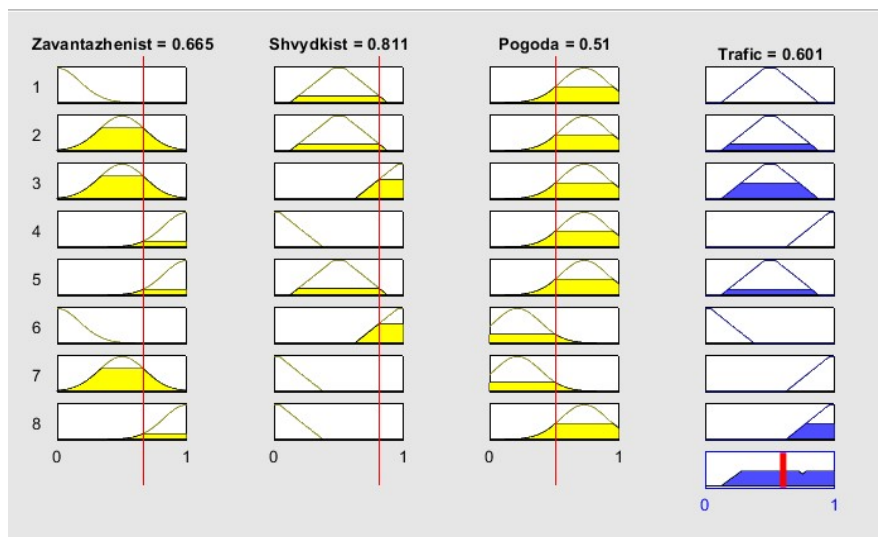


Рисунок 3.7 – Вікно бази правил у графічного вигляді

Синтезована база правил (див. рис. 3.6) була використана при комп'ютерному тестуванні розробленої нечіткої моделі. Результати тестування у вигляді поверхонь реакції вихідної змінної в нормованому вигляді (від 0 до 1) на сукупність входних лінгвістичних змінних наведені на рисунках 3.8 – 3.10.

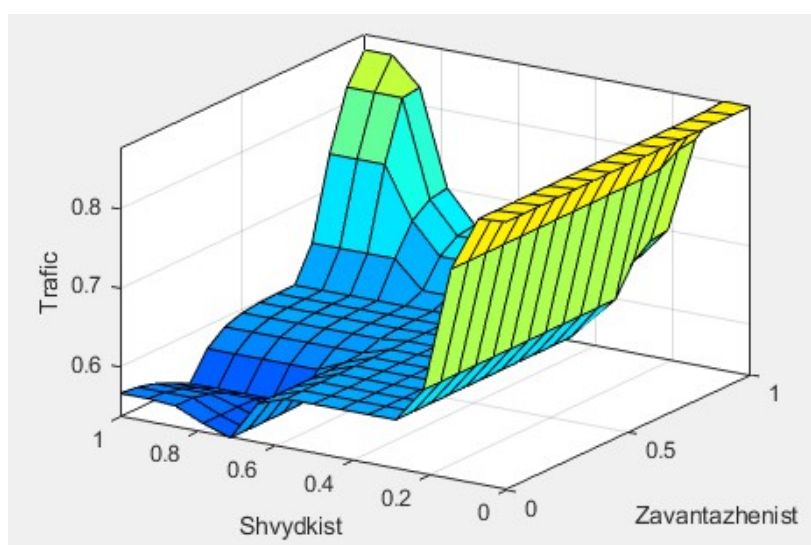


Рисунок 3.8 – Графік залежності вихідної змінної «Рівень трафіку» від входних змінних «Швидкість» і «Завантаженість»

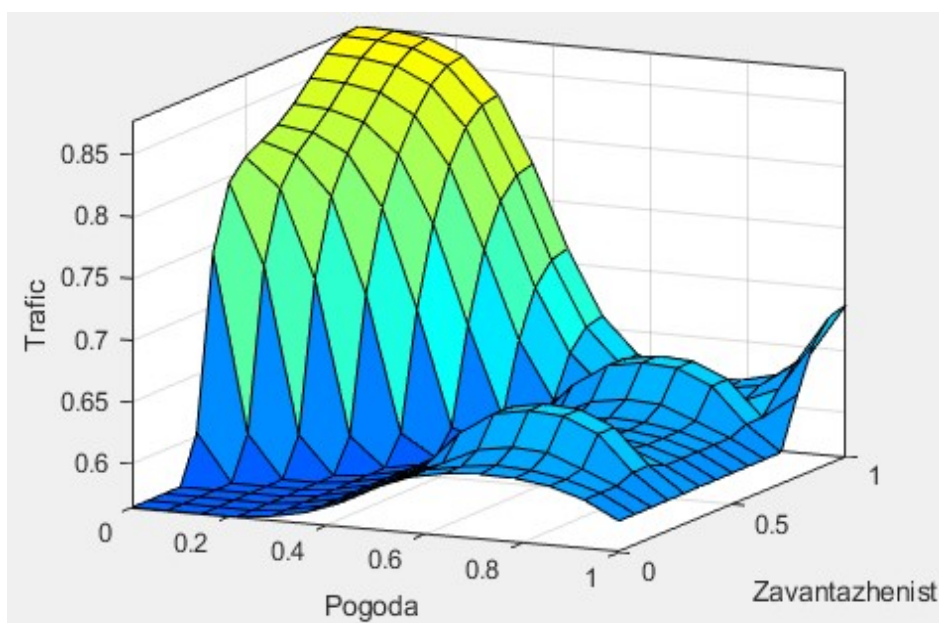


Рисунок 3.9 – Графік залежності вихідної змінної «Рівень трафіку» від вхідних змінних «Погодні умови» і «Завантаженість»

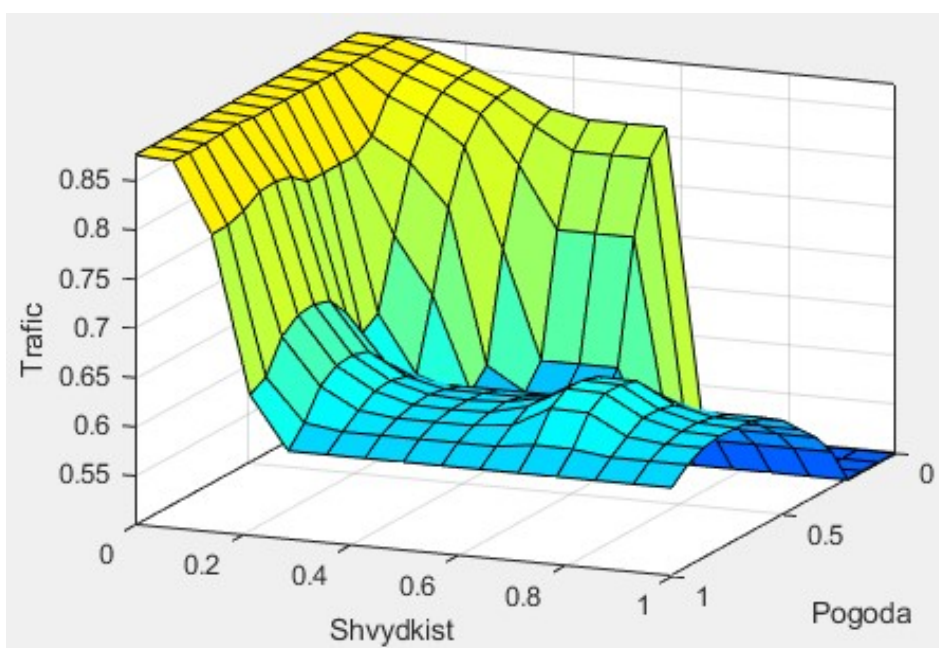


Рисунок 3.10 – Графік залежності вихідної змінної «Рівень трафіку» від вхідних змінних «Швидкість» і «Погодні умови»

Таким чином, результати тестування і комп'ютерного моделювання підтверджують адекватність щодо використання базових методів і алгоритмів нечіткої логіки при вдосконаленні комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку.

3.2 Програма забезпечення передачі даних про поточний стан дорожнього трафіку

Як відмічалось вище, то дані про динамічну зміну швидкості, геолокації і погодних умов, а також результати стрімкої потокової відеофіксації дорожнього руху із IP-камер мають одночасно передаватись до диспетчерського пункту і хмарного серверу за допомогою GSM-технології. Таким чином, була написана програма (див. рис. 3.11) і відповідно розроблена її блок-схема (див. рис. 3.12), які реалізують передавання результатів цифрового моніторингу до віддалених серверів на спеціалізованій мові програмування C для серійних промислових логічних контролерів.

```
#include <GSM.h>
#define PINNUMBER "A1"
#define GPRS_APN      "GPRS_APN"
#define GPRS_LOGIN    "User"
#define GPRS_PASSWORD "111111"
GSMClient client;
GPRS gprs;
GSM gsmAccess;
char server[] = "user.ua";
char path[] = "user.txt";
int port = 90;
void setup() { Serial.begin(9600); }
while (notConnected) {
  if ((gsmAccess.begin(PINNUMBER) == GSM_READY) &
      (gprs.attachGPRS(GPRS_APN, GPRS_LOGIN, GPRS_PASSWORD) == GPRS_READY)) {
    notConnected = false;  } else {
    Serial.println("Connect failed...");
    delay(500);
  } }
Serial.println("Wait Connecting...");
if (client.connect(server, port)) {
  Serial.println("Connect Yes");  client.print("GET ");
  client.print(path);  client.println(" HTTP/1.1");
  client.print("Host: ");  client.println(server);
  client.println("Connection: close");
  client.println();
} else {  Serial.println("connection failed"); }
void loop() {  if (client.available()) {
  char c = client.read();
  Serial.print(c);  }
  if (!client.available() && !client.connected()) {
    Serial.println();
    Serial.println("disconnecting.");
    client.stop();
    for (;;)  } }
```

а) Режим Веб-клієнта

```

#include <GSM.h>
#define PINNUMBER "A1"
#define GPRS_APN      "GPRS_APN"
#define GPRS_LOGIN    "User"
#define GPRS_PASSWORD "111111"
GPRS gprs;
GSM gsmAccess;
GSMServer server(90);
const unsigned long __TIMEOUT__ = 5 * 1000;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  boolean notConnected = true;
  while (notConnected) {
    if ((gsmAccess.begin(PINNUMBER) == GSM_READY) &
        (gprs.attachGPRS(GPRS_APN, GPRS_LOGIN, GPRS_PASSWORD) == GPRS_READY)) {
      notConnected = false; } else { Serial.println("Not connected");
    } }
  server.begin();
  IPAddress LocalIP = gprs.getIPAddress();
  Serial.println("Server IP address=");
  Serial.println(LocalIP);}
void loop() {
  GSMClient client = server.available();
  if (client) {
    while (client.connected()) {      if (client.available()) {
      Serial.println("Receiving request!");
      bool sendResponse = false;
      while (char c = client.read()) {      if (c == '\n') {
        sendResponse = true;          }      }
      if (sendResponse) {      client.println("HTTP/1.1 200 OK");
        for (int analogChannel = 0; analogChannel < 6; analogChannel++) {
          client.print(analogChannel);
          client.print(analogRead(analogChannel));
          delay(1000);      client.stop();      }      }      } }

```

б) Режим Веб-сервера

Рисунок 3.11 – Програма передачі даних про поточний дорожній трафік

Отримані результати програмування (режим веб-клієнту і веб-сервера) дозволяють використовувати промислові і бюджетні мікро- логічні контролери в якості первинної цифрової ланки ланцюга комп'ютерно-інтегрованих перетворень потокової інформації про стан дорожнього і вуличного трафіку. На ці промислові логічні контролери покладено функції збирання та обробки даних про динаміку швидкості, геолокації і погодних умов на певних ділянках доріг, що значно підвищує ефективність досліджуваної технології.

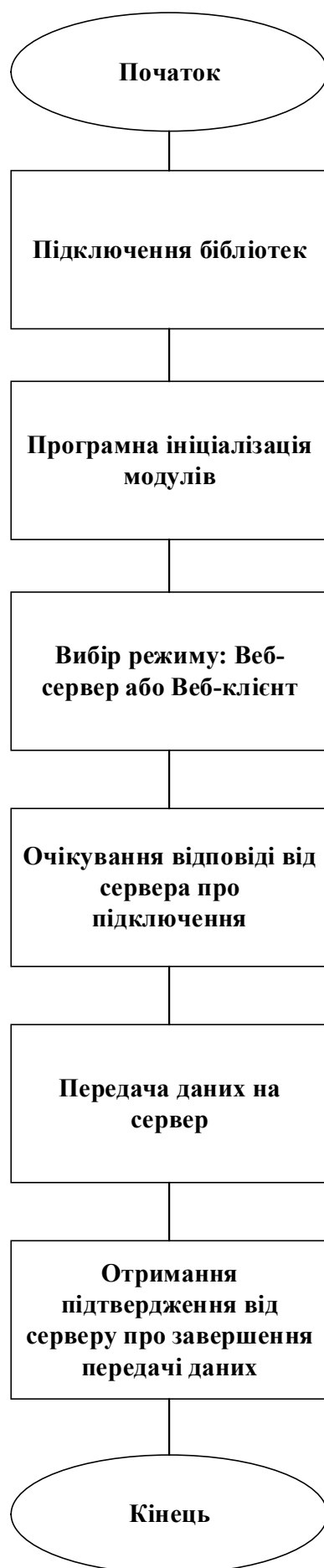


Рисунок 3.12 – Алгоритм роботи програми передачі даних за технологією GSM

Отже, отримані дані цього розділу дозволяють виконувати бездротовий і оперативний функціональний обмін інформацією про поточний вуличний і дорожній трафік у динаміці, що робить спроектовану комп'ютерно-інтегровану систему досить ефективною і можливою для використання в концепції цифровізації інфраструктури розумних міст.

3.3 Висновки

В даному розділі були виконані дослідження з одного із основних завдань бакалаврської роботи, які стосувались програмного тестування і комп'ютерного моделювання технології цифрового контролю дорожнього і вуличного трафіку:

- створена і програмно протестована в Matlab і Simulink комп'ютерна модель спроектованої технології цифрового контролю дорожнього трафіку на базі теоретичних положень нечіткої логіки;

- написане програмне забезпечення передачі даних в режимі Веб-сервера і Веб-клієнта для промислових логічних контролерів про поточний і динамічний стан дорожнього трафіку.

ВИСНОВОК

В наведеному бакалаврському дослідженні була досягнута мета роботи, яка полягала в розробці технічних засобів і методів по вдосконаленню комп'ютерно-інтегрованої технології для інтелектуального цифрового контролю дорожнього і вуличного руху в рамках концепції Industry 4.0 для цифровізації інфраструктури розумних міст. Були отримані такі результати:

1. В першому пункті вирішена задача з аналізу сучасних апробованих напрямків і ефективних тенденцій розвитку комп'ютерно-інтегрованих систем і цифрових технологій з модернізації інфраструктурних об'єктів міст на базі концепції Industry 4.0: встановлена перспективність і доведена необхідність проєктування комп'ютерно-інтегрованої технології автоматичного контролю руху транспортних засобів під час вуличного і дорожнього трафіку; виконаний аналіз розповсюджених комп'ютерно-орієнтованих методів і цифрових інтелектуальних систем щодо виявлення заторів транспортних засобів у дорожній динаміці; виконаний детальний аналіз комп'ютерних методів і технічних систем щодо локалізації транспортних засобів під час їх руху за різних погодних умов; проведений аналіз розповсюджених систем і методів, які дозволяють виявляти аномальні ситуації, що можуть виникати під час руху транспортних засобів на різних ділянках і видах доріг.

2. В другому пункті розв'язано завдання з критичного аналізу і обґрунтованого вибору апаратних компонент і програмних рішень, а також синтезі архітектури і складанні й опису алгоритмів роботи комп'ютерно-інтегрованої технології інтелектуального цифрового контролю дорожнього трафіку: синтезована архітектура і обґрунтована функціональна схема комп'ютерно-інтегрованої технології цифрового інтелектуалізованого контролю дорожнього руху на основі концептуальних положень технології Industry 4.0 для цифровізації інфраструктури розумних міст; обрано апаратні компоненти для створення і використання комп'ютерно-орієнтованої технології

контролю дорожнього трафіку; обрані та детально описані програмні засоби для створення комп'ютерно-інтегрованої системи контролю дорожнього руху в межах розумних цифрових міст і регіонів.

3. В третьому пункті розв'язано дослідницьке завдання щодо моделювання і програмного тестування засобами комп'ютерної техніки розробленої технології контролю дорожнього трафіку: розроблена і протестована в програмі Matlab і Simulink комп'ютерна модель спроектованої комп'ютерно-орієнтованої технології цифрового контролю дорожнього і вуличного трафіку на базі математичних основ теорії Fuzzy логіки; написаний і протестований програмний код для забезпечення віддаленої передачі даних в двох можливих режимах роботи: Веб-сервера і Веб-клієнта, що призначений для промислових логічних контролерів задля аналізу поточного стану вуличного і дорожнього трафіку на основі роздрібненої потокової інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Traffic. WS DOT. URL: <https://wsdot.wa.gov/Operations/Traffic/tmc.htm.%20Accessed%209/3/2019> (дата звернення 25.04.2022).
2. Control Engineering. URL: <https://controleng.com/apparatnye-sredstva/otobrazhenie-informatsii/tsentry-upravleniya-magistralyu/> (дата звернення 26.04.2022).
3. Ullman G.L., Iragavarapu V., Brydia R.E. Safety Effects of Portable End-of-Queue Warning System Deployments at Texas Work Zones. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. No. 2555. 2018. P. 46 – 52.
4. Dougherty M.S., Kirby H.R., Boyle R.D. The use of neural networks to recognise and predict traffic congestion. Traffic engineering & control. Vol. 34, no. 6. 1993. P. 1 – 12.
5. Coifman B., Beymer D., McLauchlan P., Malik J. A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. Vol. 6 (4). 1998. P. 271 – 288.
6. Chiu C.C., Ku M.Y., Wang C.Y. Automatic Traffic Surveillance System for Vision-Based Vehicle Recognition and Tracking. J. Inf. Sci. Eng. Vol. 26 (2). 2017. P. 611 – 629.
7. Семантична сегментація: керівництво користувача. URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/semantic-segmentation/> (дата звернення 27.04.2022).
8. Zhang J.S., Cao J., Mao B. Application of deep learning and unmanned aerial vehicle technology in traffic flow monitoring. In 2017 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC). Vol. 1. 2017. P. 189 – 194.
9. IT Enterprise. Industry 4.0. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/industry-4> (дата звернення 27.04.2022).

10. Чайкіна А.О. ІНДУСТРІЯ 4.0: Особливості Цифрової Трансформації України. Вчені записки ТНУ імені В.І.Вернадського. Серія: Економіка і управління. Т. 32 (71). Вип. 3. 2021. С. 24 – 31.

11. Secur. Системи безпеки. URL: https://secur.ua/robotizirovannaja-speed-dome-ip-kamera-hikvision-ds-2dy9188-aia-ptz-32x-1080p.html?utm_campaign=Smart_Shopping_RU_Ukraine_NP&utm_term=&utm_source=google&utm_medium=cpc&gclid=CjwKCAjwjZmTBhB4EiwAynRmD6P9F0VhMAS1SMf67o2mXIPCjWLeHCAKafhVQon8SP-cLskGJ8txNxoCiasQAvD_BwE (дата звернення 12.05.2022).

12. Macrolab. URL: https://www.macrolab.com.ua/catalog/meteostancii/Davis_Vantage_Pro2_Plus (дата звернення 14.05.2022).

13. Трансконтроль Україна. URL: <https://transcontrol.com.ua/oborudovanie-gps/gps-terminaly/teltonika/gps-terminal-teltonika-msp500.html> (дата звернення 18.05.2022).

14. Huawei. Розумне місто. URL: <https://e.huawei.com/ru/solutions/industries/government/smart-city> (дата звернення 24.05.2022).

15. MathWorks. Fuzzy Logic Toolbox. URL: <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html> (дата звернення 07.06.2022).

ДОДАТОК А – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу та організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення, в якому знаходиться робоче місце з персональним компютером, повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світових прорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світових прорізів. Віконні прорізи в приміщенні з персональним комп'ютером повинні мати регульовані жалюзі чи завіски або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць з персональним комп'ютером у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з персональними комп'ютерами рекомендується розміщувати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з персональним комп'ютером повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування персонального комп'ютера, під час якого працюючий звернений обличчям або спиною до вікон чи кімнати задньої частини персонального комп'ютера, де монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень з персональними комп'ютерами полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери, що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені до «Переліку дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

У лабораторії вимірjuвальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з персональними комп'ютерами розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами 3 м. Екрани моніторів знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78

та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 м від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів, відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння та спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

А.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилювання. Витрати повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаються за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.;

c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг);

p – об'ємна вага повітря (1,226 кг/м³);

$t_{\text{В}}$ – температура витяжного повітря (30°C);

$t_{\text{Н}}$ – температура приточного повітря (20°C).

Розраховується надлишкове надходження тепла за формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла від персоналу;

$Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначається виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95);

K_6 – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{УСТ}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_6 \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначається виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначається надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для зорової роботи, величина якої дорівнює

300 лк;

g_1 – питоме тепловиділення на 1 м^2 підлоги під час освітленості в 1 лк (для люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.);

S – площа приміщення, м^2 .

Визначається надходження тепла від сонячної радіації через вікна за формулою:

$$Q_{\text{CP}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{OCL}} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймається 0,4.

Визначається кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{CP}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначаються витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_{\text{В}} - t_{\text{Н}})} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність $2200 \text{ м}^3/\text{год.}$, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та (40 – 60) %, відповідно.

Під час збереження всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, швидкість руху повітря (0,1 – 0,2) метрів в секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія під час збереження всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

А.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($H=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70$ %, $P_{\text{стін}} = 50$ %. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, що розташовано на стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначається висота підвісу світильників над підлогою:

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути в межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. Освітлення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідного відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначається висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,7 = 2,4 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається під час відповідного співвідношення відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначається рекомендована відстань між світильниками:

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,4 = 1,68 \text{ м.}$$

4) Розраховується необхідна кількість світильників:

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{1,68^2} = 7,4.$$

Приймається 8 світильників, з обліком розмірів приміщення вони розташовуються у два ряди по 4 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, що визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та

коефіцієнтів відбиття стін і стелі.

6) Визначається показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 ($i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обирається лампа Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої дорівнює 2000 лм. Хоча це значення на 19,2 % більше розрахованого, проте не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ Вт.}$$