

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра кібербезпеки та програмного забезпечення

”Допущено до захисту”
Завідувач кафедри кібербезпеки
та програмного забезпечення
д.т.н., професор
_____ Олексій СМІРНОВ
« ____ » _____ 2026 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему
“Програмне забезпечення системи Fog Computing на основі
стандарту IEEE 1934:2018”

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи КН-23МБ
ОПП «Комп’ютерні науки»
спеціальності 122 «Комп’ютерні науки»
_____ Рябокобила С.О.
« ____ » _____ 2026 р.

Керівник проекту
кандидат технічних наук, доцент
_____ Смірнова Т.В.
« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Механіко-технологічний
Кафедра Кібербезпеки та програмного забезпечення
Освітній ступінь бакалавр
Галузь знань . 12 “Інформаційні технології”
Спеціальність 122 “Комп’ютерні науки”
Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма “Комп’ютерні науки”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., проф.

Олексій СМІРНОВ

« 15 » січня 2026 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Рябокобилі Сергію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Програмне забезпечення системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018*

2. Керівник роботи *Смірнова Тетяна Віталіївна, канд. техн. наук, доцент*

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № 128-02 від 27.02.2026 року

3. Строк подання студентом роботи до захисту *23.05.2026 р.*

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: *Метою роботи є розробка програмного забезпечення системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018*

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Призначення та область використання.

2. Перегляд аналогічних існуючих систем.

3. Опис і обґрунтування проектних рішень.

4. Етапи програмування системи.

5. Впровадження системи в промислову експлуатацію.

6. Висновки

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

Структурна схема системи *1 аркуш*

Функціональна схема системи *1 аркуш*

Діаграма процесів *1 аркуш*

Блок-схема алгоритму роботи додатку *2 аркуша*

7. Дата видачі завдання « 15 » січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти	Строк виконання етапів випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти	Примітка
1.	Аналіз існуючих систем	10.03.2026 р.	
2.	Постановка задачі, оформлення ТЗ	15.03.2026 р.	
3.	Розробка моделі компонента	20.03.2026 р.	
4.	Розробка структур даних	25.03.2026 р.	
5.	Розробка алгоритмів зв'язку та відображення	30.03.2026 р.	
6.	Програмування алгоритмів	10.04.2026 р.	
7.	Оформлення ПЗ	17.04.2026 р.	
8.	Попередній захист роботи	23.05.2026 р.	

Дата видачі завдання
« 15 » січня 2026 р.

Підпис керівника

Смірнова Т.В.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
« 15 » січня 2026 р.

Підпис здобувача

Рябокобила С.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Рябокобила С.О. Програмне забезпечення системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018. 122 Комп'ютерні науки. Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький. 2026.

В даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

Метою розробки є програмне забезпечення системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

Результат роботи – програмна реалізація системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Розроблено зручний інтерфейс користувача. Наведені інструкції по роботі з програмними засобами.

Програма може використовуватися на ПЕОМ з ОС Windows 10/11.

Програму розроблено в середовищі Builder C++.

Ключові слова: комп'ютерні науки, Fog Computing, IEEE 1934:2018

ABSTRACT

Riabokobyla S.O. Fog Computing System Software Based on the IEEE 1934:2018 Standard. 122 Computer Science. Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi. 2026.

In this final qualification work for the first (bachelor's) level of higher education, software has been developed that is intended for the Fog Computing system based on the IEEE 1934:2018 standard.

The purpose of the development is the Fog Computing system software based on the IEEE 1934:2018 standard.

The result of the work is the software implementation of the Fog Computing system based on the IEEE 1934:2018 standard.

In the process of working on the software model, an analysis of existing hardware and software was performed. All components of the developed software are fully described.

A convenient user interface has been developed. Instructions for working with software are provided.

The program can be used on PCs with Windows 10/11.

The program was developed in the Builder C++ environment.

Keywords: computer science, Fog Computing, IEEE 1934:2018

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ	2
ВСТУП.....	3
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	5
1.1 Призначення системи.....	5
1.2 Область застосування.....	6
2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	7
2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур та програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.....	7
2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування.....	14
2.3 Розгорнута постановка завдання	16
3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ	18
3.1 Опис функціонування системи	18
3.2 Розробка структурної схеми.....	26
3.3 Розробка функціональної схеми	33
3.4 Розробка діаграми процесів.....	42
4 РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ВІРНІСТЬ ПРОЕКТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ.....	44
4.1 Розробка блок-схем та опис алгоритмів функціонування системи.....	44
4.2 Захист розробленого програмного забезпечення.....	57
5 ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ	59
6 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ			
Вим.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Рябокобила С.О.			Програмне забезпечення системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018	Лім.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Смірнова Т.В.				Б	1	73
Н.контр.		Коваленко А.С.				ЦНТУ КН-23МБ		
Затв.		Смірнов О.А.						

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

СТ	-	Комунікаційні технології
IoT	-	Інтернет речей
IT	-	Інформаційні технології
OT	-	Операційні технології
RFID	-	Радіомітка
ПЗ	-	Програмне забезпечення

К6ПЗ_2026

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ВСТУП

Актуальність теми. Туманні обчислення (Fog Computing) стали перспективною парадигмою для розширення хмарних сервісів до периферії мережі, забезпечуючи обробку з низькою затримкою та швидкість реагування в режимі реального часу для застосунків Інтернету речей (IoT). Однак розподілена, гетерогенна та обмежена ресурсами природа туманних середовищ створює значні труднощі для ефективного балансування робочих навантажень. Аналіз показує, що трирівневі архітектури (IoT-Туман-Хмара) залишаються переважними, при цьому динамічна кластеризація та віртуалізація зазвичай використовуються для підвищення адаптивності. Евристичні та гібридні підходи до балансування навантаження є найбільш широко застосовуваними завдяки своїй масштабованості та гнучкості. Оцінювання часто зосереджується на затримці, споживанні енергії та використанні ресурсів, тоді як моделювання переважно проводиться за допомогою таких інструментів, як iFogSim та YAFS. Незважаючи на значний прогрес, ключові проблеми залишаються, включаючи диверсифікацію робочого навантаження, забезпечення безпеки та прийняття рішень у режимі реального часу в динамічних умовах. Нові тенденції підкреслюють зростаюче використання штучного інтелекту, програмно-визначених мереж та блокчейну для підтримки інтелектуального, безпечного та автономного балансування навантаження. Дана робота синтезує сучасні напрямки досліджень, визначає критичні прогалини та пропонує рекомендації щодо проектування ефективних та стійких систем балансування навантаження на основі туману.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є програмне забезпечення системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

– Огляд існуючих систем Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

– Дослідження системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

– Програмна реалізація системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати задачі Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, програмне забезпечення системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Призначення системи

Глобальний ринок Fog Computing у 2025 році оцінювався в 1,09 млрд доларів США. Прогнозується, що ринок зросте з 1,66 млрд доларів США у 2026 році до 46,56 млрд доларів США до 2034 року, демонструючи середньорічний темп зростання (CAGR) 51,72% протягом прогнозованого періоду.

Ринок Fog Computing набуває стратегічного значення, оскільки підприємства прагнуть обробляти дані ближче до джерела, а не покладатися виключно на централізовані хмарні інфраструктури.

Туманні обчислення розширюють хмарні можливості до периферії мережі, забезпечуючи обробку даних з низькою затримкою, аналітику в режимі реального часу та підвищену ефективність використання пропускну здатності.

Аналіз ринку Fog Computing підкреслює активне впровадження в галузях, які потребують миттєвого прийняття рішень, таких як виробництво, транспорт, охорона здоров'я та комунальні послуги. Зменшуючи затримки передачі даних та покращуючи швидкість реагування системи, туманні обчислення підвищують операційну ефективність та надійність.

Аналіз галузі Fog Computing вказує на те, що ринок зумовлений швидким зростанням пристроїв Інтернету речей, попитом на периферійну аналітику та архітектурами розподілених обчислень, що підтримують ініціативи цифрової трансформації.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1.2 Область застосування

IEEE 1934-2018 – Стандарт IEEE для прийняття еталонної архітектури OpenFog для Fog Computing

Консорціум OpenFog – у цьому стандарті використовується еталонна архітектура OpenFog для Fog Computing. Еталонна архітектура OpenFog [OPFRA001.020817] – це структурне й функціональне приписання відкритої, функціонально сумісної горизонтальної системної архітектури для розподілу функцій обчислень, зберігання, керування й роботи в мережі ближче до користувачів по безперервному спілкуванню між комп'ютерами, обчисленням, чутливі й виконавчі об'єкти. Він охоплює різні підходи до розподілу послуг інформаційних технологій (ІТ), комунікаційних технологій (СТ) і операційних технологій (ОТ) через інфраструктуру обміну інформаційними повідомленнями, а також успадковані й мережеві технології, що з'являються, множинного доступу

Таким чином, виходячи з вищеперерахованого, програмне забезпечення системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018, є актуальною задачею, яка потребує вирішення у даній випускній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

2 ПЕРЕГЛЯД АНАЛОГІЧНИХ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

2.1 Огляд існуючих систем, технологій, архітектур, програмних рішень за профілем теми випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

США

Ринок Fog Computing у Сполучених Штатах швидко розвивається завдяки сильній цифровізації підприємств та ранньому впровадженню передових технологій. Організації, що базуються в США, впроваджують туманні обчислення для підтримки промислової автоматизації, інтелектуальної інфраструктури та підключених систем охорони здоров'я. Звіт про дослідження ринку Fog Computing у США підкреслює зростаюче використання в додатках, що потребують аналізу даних у режимі реального часу та локалізованої обробки. Федеральні інвестиції в розумні міста, модернізацію оборони та стійкість критичної інфраструктури підсилюють попит. Підприємства все частіше інтегрують туманні обчислення з хмарними платформами та платформами штучного інтелекту для покращення масштабованості та безпеки. Ці фактори позиціонують США як провідного фактора у світовому впровадженні Fog Computing.

34% частку решти світу на ринку Fog Computing підкріплює сильна зосередженість регіону на обробці даних у режимі реального часу та периферійному інтелекті. Підприємства впроваджують туманні обчислення для підтримки робочих навантажень, чутливих до затримки, у виробничій автоматизації та промислових середовищах Інтернету речей. Широке впровадження мереж 5G покращує підключення та продуктивність туману до хмари. Медичні працівники використовують туманні обчислення для локалізованої обробки даних пацієнтів та дистанційного моніторингу.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Транспортні системи використовують туманні вузли для оптимізації трафіку та зв'язку між транспортним засобом та інфраструктурою. Постачальники хмарних послуг активно інтегрують туманні архітектури в гібридні моделі розгортання. Регіон виграє від зрілої екосистеми постачальників обладнання та програмних платформ. Рішення для Fog Computing, орієнтовані на кібербезпеку, набирають обертів завдяки нормативним та експлуатаційним вимогам. Проекти розумних міст продовжують розширювати масштаби розгортання туману. Ці фактори разом підтримують лідерство Північної Америки на ринку Fog Computing.

Європа

26% частка Європи на ринку Fog Computing зумовлена її потужною промисловою базою та регуляторним акцентом на суверенітеті даних. Виробничі підприємства впроваджують туманні обчислення для забезпечення контролю в режимі реального часу, прогнозного обслуговування та оптимізації виробництва. Постачальники енергії та комунальних послуг використовують туманні платформи для управління розподіленими активами та стабільності мережі. Регіон надає великого значення безпечній та сумісній обробці даних на периферії. Туманні обчислення підтримують ініціативи цифрової трансформації в рамках Industry 4.0. Проекти державної інфраструктури інтегрують туманні рішення для управління дорожнім рухом та систем громадської безпеки. Підприємства віддають перевагу туманним архітектурам, щоб зменшити залежність від централізованої хмарної обробки. Транскордонна промислова співпраця прискорює стандартизацію технологій. Попит на стійкі та енергоефективні обчислення ще більше підтримує їх впровадження. Ця динаміка зміцнює стабільні позиції Європи в глобальному аналізі галузі Fog Computing.

Ринок Fog Computing у Німеччині

9% частка Німеччини на ринку Fog Computing відображає її лідерство в промисловій автоматизації та інтелектуальному виробництві. Виробничий сектор країни широко використовує туманні обчислення для обробки машинних даних у режимі реального часу. Виробники автомобільного та промислового обладнання

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

покладаються на туманні вузли для забезпечення прогнозного обслуговування та контролю якості. Туманні обчислення покращують швидкість реагування на заводських цехах, зменшуючи залежність від хмари. Інтеграція з робототехнікою та системами управління підвищує операційну точність. Акцент Німеччини на Промисловості 4.0 стимулює постійні інвестиції в периферійні та туманні технології. Проекти управління енергією та інтелектуальні мережі також використовують архітектури туману. Вимоги до локалізації даних заохочують розгортання туману на місці. Тісна співпраця між промисловістю та дослідницькими установами підтримує інновації. Ці фактори підтримують вплив Німеччини в європейській екосистемі Fog Computing.

Ринок Fog Computing у Великій Британії

7% частки Сполученого Королівства на ринку Fog Computing підтримується швидкою цифровізацією в державному та приватному секторах. Туманні обчислення все частіше використовуються в ініціативах «розумного» міста для управління дорожнім рухом, комунальними послугами та системами спостереження. Організації охорони здоров'я використовують туманні платформи для забезпечення діагностики в режимі реального часу та моніторингу пацієнтів. Роздрібні торговці впроваджують туманні обчислення для аналітики в магазинах та оптимізації запасів. Велика Британія робить акцент на системах кібербезпеки на основі туману для захисту розподілених середовищ даних. Інтеграція з хмарними платформами підвищує гнучкість розгортання. Транспортні та логістичні оператори використовують туманні рішення для відстеження автопарку та оптимізації маршрутів. Підтримувані урядом програми цифрової інфраструктури прискорюють впровадження. Інноваційні центри підтримують розробку програмних рішень для периферійних систем та Fog Computing. Ці ініціативи забезпечують стабільну присутність Великої Британії на ринку Fog Computing.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Азіатсько-Тихоокеанський регіон

30% частка Азіатсько-Тихоокеанського регіону на ринку Fog Computing зумовлена масштабним розгортанням Інтернету речей та швидкою урбанізацією. Уряди всього регіону значно інвестують у розумну інфраструктуру, що підтримується туманними архітектурами. Виробничі центри покладаються на туманні обчислення для автоматизації та операційної аналітики. Постачальники телекомунікацій розгортають туманні вузли для підтримки програм з низькою затримкою, що забезпечуються 5G. Системи охорони здоров'я використовують туманні платформи для децентралізованої обробки та моніторингу даних. Роздрібна торгівля та логістика впроваджують туманні обчислення для ефективного управління великими обсягами даних. Мережі громадського транспорту інтегрують туманні рішення для контролю та безпеки в режимі реального часу. Економічно ефективне виробництво обладнання підтримує масштабне розгортання. Імпульс цифрової трансформації в регіоні підтримує сильне впровадження Fog Computing.

Японський ринок Fog Computing

8% частки Японії на ринку Fog Computing формується завдяки передовій автоматизації та впровадженню робототехніки. Туманні обчислення підтримують керування роботизованими системами в режимі реального часу у виробничих середовищах. Країна робить акцент на надійності та точності розгортання периферійних систем та туманних систем. Розумні фабрики використовують аналітику туману для оптимізації виробничих робочих процесів. Медичні заклади використовують туманні обчислення для безперервного моніторингу пацієнтів. Транспортні системи інтегрують туманні рішення для інтелектуального управління дорожнім рухом. Планування стійкості до стихійних лих включає архітектуру туману для локалізованої обробки даних. Тісна співпраця між постачальниками технологій та промисловістю прискорює інновації. Зосередженість Японії на високоякісній цифровій інфраструктурі посилює стале впровадження. Ці елементи підтримують стратегічну роль Японії на

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

регіональному ринку Fog Computing.

Китайський ринок Fog Computing

12% частка Китаю на ринку Fog Computing зумовлена широким впровадженням у виробництво, міську інфраструктуру та транспортні системи. Туманні обчислення підтримують аналітику в режимі реального часу у великомасштабних промислових операціях. Проекти розумних міст покладаються на туманні вузли для керування дорожнім рухом та моніторингу громадської безпеки. Розширення телекомунікацій прискорює інтеграцію туману з мережами 5G. Промислові парки розгортають туманні платформи для оптимізації споживання енергії та операцій. Локалізована обробка даних підтримує дотримання нормативних вимог та підвищення ефективності. Вітчизняні постачальники технологій сприяють швидкому зростанню екосистеми. Масштабні інвестиції в інфраструктуру забезпечують широке впровадження туману. Ці фактори позиціонують Китай як ключового рушійну силу впровадження Fog Computing в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

Близький Схід та Африка

10% частка Близького Сходу та Африки на ринку Fog Computing відображає зростання їх впровадження, зумовлене модернізацією цифрової інфраструктури. Уряди впроваджують туманні обчислення для підтримки розвитку розумних міст та державних послуг. Енергетичний та комунальний сектори використовують туманні платформи для моніторингу та оптимізації активів. Транспортні системи інтегрують туманні рішення для покращення потоку та безпеки дорожнього руху. Медичні працівники впроваджують туманні обчислення для локалізованої обробки даних у віддалених районах. Регіон робить акцент на стійких та масштабованих цифрових архітектурах. Інвестиції в телекомунікації підвищують можливості розгортання туману. Державно-приватні партнерства прискорюють впровадження технологій. Туманні обчислення підтримують національні стратегії цифрової трансформації. Ці ініціативи зміцнюють роль регіону на світовому ринку Fog Computing.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Список стартапів, що спеціалізуються на платформах для туманних обчислень

IoTech Systems

IoTech Systems створює та розгортає платформи периферійних обчислень для промислових застосувань Інтернету речей. Вона пропонує Edge Expert, платформу з відкритим кодом для створення периферійних застосувань, яка дозволяє обробляти робочі навантаження на периферії Інтернету речей, одночасно підвищуючи безпеку, забезпечуючи прийняття рішень у режимі реального часу та зменшуючи вимоги до зберігання або транспортування даних Інтернету речей. Компанія стверджує, що платформа не залежить від постачальника, що забезпечує сумісність між речами, додатками та сервісами в різних випадках використання. Крім того, вона дозволяє розподіляти незалежні мікросервіси між окремими апаратними пристроями, написаними різними мовами (такими як Java, Go Lang, C/C++), які взаємодіють один з одним через HTTP-REST (та інші протоколи, такі як MQTT та ZeroMQ). Вона також підтримує інтеграцію багатопроTOCOLЬНИХ ОТ-пристроїв та датчиків (таких як Modbus, BACnet, пристрої OPC UA) та кінцевих точок IT/хмари (таких як Microsoft Azure IoT Hub та AWS IoT Platform) через API. Партнерами є Dell IoT Solutions, Edge X Foundry та The Linux Foundation.

Brainium

Brainium – це комплексне рішення для Інтернету речей, що забезпечує штучний інтелект та безпеку на периферії. Його архітектура складається з трьох програмних рівнів, а саме: edge agile, шлюз та хмара. Edge Agile – це, по суті, автономний пристрій з низьким енергоспоживанням з інтерфейсом BLE, що забезпечує доступ до датчиків та обробки даних на периферії. Шлюзами є Android, iOS, Raspberry PI або інші IP-пристрої, які забезпечують хмарний доступ до сенсорного пристрою. Хмара оптимізована для MS Azure та забезпечує доступ до даних датчиків, а також керування сенсорними пристроями та шлюзами. Функції рішення контейнеризовані для можливості розгортання та роботи

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

незалежно від середовища. Стверджується, що кожен рівень платформи розроблений для роботи незалежно від цільових обмежень середовища для реалізації комплексного досвіду Інтернету речей нового покоління. Варіанти використання включають прогнозне обслуговування, керування жестами, розумну фабрику, сільське господарство тощо.

Послуги Volterra Edge

Volterra – це технологічний стартап, який пропонує платформу периферійних обчислень, призначену для вирішення проблем, що потребують обчислень з низькою затримкою. Стверджується, що платформа використовує програмно-визначене сховище та технологію Kubernetes для забезпечення безпеки, підключення та послуг передачі даних, що пришвидшують комерціалізацію та забезпечують дотримання нормативних вимог. Станом на серпень 2025 року компанія працює в прихованому режимі.

V5 Systems

V5 Systems пропонує рішення та платформи для зовнішньої безпеки для застосувань Інтернету речей. Вона пропонує автономне та інтелектуальне відеоспостереження з інтегрованою безпекою. Її рішення для безпеки включають можливості Edge та Hybrid Cloud Analytics, а також вимоги до зовнішнього Wi-Fi. Вона співпрацює з Aerolinks, Aruba Networks, Core, Citrix, 3VR, NASA, Foxlink та багатьма іншими. Вона стверджує, що забезпечує такі переваги, як портативність, кілька датчиків та зв'язок у режимі реального часу. Її рішення можуть знайти застосування в таких галузях, як нафта і газ, сільське господарство, транспорт тощо. Продуктом, що пропонується компанією для зовнішньої безпеки, є V5 Acoustic Gunshot Sensor. Це бездротовий, портативний локаатор пострілів на сонячній енергії.

Lilee Systems

LILEE Systems надає рішення для підключення та управління для застосувань Інтернету речей та туманних обчислень. Надає серію апаратних шлюзів, таких як серії STS, LMS та LMC, для інтеграції та управління

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

розподіленими активами; T-Cloud для керування мережею без дотику та інтеграції зі своїми шлюзами; віртуальний контролер мобільності; пакет управління для РТС та операційної системи. Пропонує такі послуги, як прогнозне моделювання систем, валідація, перевірка концепції, тестування продуктів та систем, управління проектами, підключення як послуга (SaaS) тощо. Знаходить застосування в галузевих рішеннях, таких як підключений транспорт, розумні міста, роздрібна торгівля, служби швидкого реагування тощо, у таких сферах, як підключення пасажирів, розваги на борту, позитивний контроль поїздів, спостереження та безпека, управління автопарком, реклама на борту та інші.

2.2 Обґрунтування вибору засобів для побудови системи та мови програмування

Оскільки потрібно розробити просту та легку у користуванні програму, яка б виконувалась під операційною системою Windows, то для її реалізації я обрав Builder C++. Існує велике число бібліотек написаних під Builder C++ , тому це одна з важливих причин вибору мови програмування. Середовище Builder C++ досить просте в користуванні, його вихідний код значно менше по об'єму в порівнянні з Delphi чи деякими іншими програмами такого типу. Досить легко організувати взаємодію між модулями програм, об'єктно-орієнтований підхід дає можливість значно скоротити код програми, а отже і час його виконання.

На заміну старого розробленого набору елементів управління у Builder C++ інтегрована бібліотека візуальних компонентів VCL, представлених на палітрі компонентів. Після переносу на форму методом перетягування (drag-and-drop) компоненти відразу становляться діючими об'єктами вашої програми. Окрім типізованих інтерфейсних елементів Windows (кнопки, смуги прокручування, редагуємі текстові області, прості та комбіновані списки, та інше) у бібліотеку включені елементи підтримки діалогових вікон, обслуговування баз даних та

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

багато іншого. Можливо не тільки модифікувати поведінку існуючих компонентів, але і будувати нові.

Builder C++ підтримує останні розширення стандарту мови C++ та забезпечує швидку компіляцію та складання 32-розрядних програм для Windows. Результуючі програми оптимізовані з точки зору швидкості виконання програм та затрат пам'яті. Зручний відладгоджувальник (з асемблерним вікном, можливістю крокового виконання, завдання точок зупинки, трасування та інше) повністю інтегрований у систему проектування. Дизайнер форм, редактор коду, інспектор об'єктів та інші інструменти залишаються доступними під час виконання програми, саме через це вносити зміни до коду можна прямо у процесі відлагодження.

Дизайнер форм, Інспектор об'єктів і інші засоби залишаються доступними під час роботи програми, тому вносити зміни можна в процесі відлагодження.

Builder C++ поставляється в трьох варіантах: Standard (стандартний), Professional (для професіоналів розробників, орієнтованих на мережеву архітектуру) і Client/Server Suite (для розробки систем в архітектурі клієнт/сервер). Останні два варіанти доповнюють стандартний початковими текстами візуальних компонентів, різномасштабним словником даних, новими функціями мови запитів SQL для бази даних, пакетом підтримки систем Internet, службою моніторингу програм, а також рядом інших засобів.

Builder C++ підтримує зв'язок з різними базами даних 3-х видів: dBASE і Paradox; Sybase, Oracle, InterBase і Informix; Excel, Access, FoxPro і Btrieve. Механізм BDE (Borland Database Engine) додає обслуговуванню зв'язків з базами даних дивовижну простоту і прозорість. Провідник Database Explorer дозволяє зображати зв'язки і об'єкти баз даних графічно. Використовуючи компоненти баз даних, я побудував електронний записник згідно таблиці dBASE за півгодини роботи на комп'ютері. Спадкоємство готових форм і їх "підгонка" під специфічні вимоги помітно скорочують тимчасові витрати на вирішення подібних завдань.

Довідкова служба Builder C++ надавала мені допомогу в цій і багатьох інших подібних ситуаціях. Є повний опис кожного управляемого компонента,

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

включаючи списки властивостей і методів, а також численні приклади. Виклад матеріалу в книзі був значно покращуваний і систематизований завдяки відомостям, почерпнутим мною з довідкової служби.

Завдяки засобам управління проектами, двосторонній інтеграції застосунку і синхронізації між засобами візуального і текстового редагування, а також вбудованому відладнику (з асемблерним вікном прокрутки, покрокового виконання, точок останову, трасуванням і тому подібне) – Builder C++ корпорації Borland надає собою вражаюче середовище розробки, яка, мабуть, витримає конкурентну боротьбу з такими модними продуктами як Developer Studio фірми Microsoft.

2.3 Розгорнута постановка завдання

Згідно з технічним завданням на випускню кваліфікаційну роботу за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти, реалізації підлягає програмне забезпечення, яке призначено для системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

В процесі розробки випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти необхідно виконати наступний обсяг роботи:

а) провести аналіз існуючих систем-аналогів для виявлення їх позитивних і негативних якостей. Результати аналізу врахувати в подальших розробках;

б) вибрати та обґрунтувати методику побудови системи контролю роботи технологічного обладнання на виробництві в автоматизованому режимі. Розробити функціональну та структурну схеми системи;

в) розробити програмне забезпечення системи, що дозволить реалізувати поставлену технічним завданням задачу. Побудувати блок-схеми алгоритмів програми та підпрограми;

г) організувати інтерфейс користувача з метою формування та виводу на екран ЕОМ повідомлень про некоректні дії користувача та нестандартні ситуації

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

в роботі технологічного обладнання;

д) розробити рекомендації по організаційних та методичних заходах, які забезпечать впровадження системи в промислову експлуатацію та її подальшу успішну експлуатацію;

е) провести розрахунки по визначенню економічної ефективності розробленої системи;

ж) розробити заходи по охороні праці при впровадженні та експлуатації системи, а також розробити заходи з цивільного захисту;

з) сформулювати висновки про виконаний обсяг робіт та одержані результати.

КБПЗ-2026

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

3 ОПИС І ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

3.1 Опис функціонування системи

Тенденції ринку Fog Computing демонструють зсув у бік децентралізованого інтелекту та гібридних хмарних архітектур. Організації розгортають туманні вузли ближче до кінцевих точок Інтернету речей, щоб забезпечити аналітику в режимі реального часу та швидший час реагування. Однією з основних тенденцій є інтеграція Fog Computing із моделями штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволяє виводити дані на пристрої та локалізувати автоматизацію. Аналіз галузі Fog Computing також підкреслює зростаючий попит на контейнерні та мікросервісні туманні платформи, які спрощують розгортання та оркестрацію.

Ще однією тенденцією, що формує перспективи ринку Fog Computing, є зростаюче впровадження мереж 5G, які покращують зв'язок та підтримують програми, чутливі до затримки. Рішення для Fog Computing, орієнтовані на безпеку, набирають обертів, оскільки підприємства надають пріоритет суверенітету даних та дотриманню нормативних вимог. Такі галузі, як інтелектуальне виробництво та транспорт, використовують туманні обчислення для прогнозного обслуговування та оптимізації експлуатації. Ці тенденції разом підсилюють роль Fog Computing як фундаментальної технології в розподілених цифрових екосистемах.

Зростаючий попит на обробку даних з низькою затримкою

Підприємства все частіше працюють у середовищах, де мілісекунди безпосередньо впливають на операційні результати та якість обслуговування. Туманні обчислення підтримують системи керування в режимі реального часу, що використовуються на виробничих лініях, дорожній сигналізації та управлінні енергією. Зменшення затримки дозволяє швидше виявляти аномалії та негайно

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

вживати коригувальних заходів. Периферійна аналітика на основі туманних архітектур покращує взаємодію з користувачами в підключених програмах. Організації, що обробляють критично важливі робочі навантаження, надають пріоритет туманним обчисленням, щоб уникнути затримок у хмарному обміні даними. Розподілена обробка підвищує надійність під час перебоїв у роботі мережі. Туманні платформи підтримують пріоритезацію даних, забезпечуючи миттєву обробку критично важливих даних. Галузі зі суворими вимогами до часу безвідмовної роботи отримують значні переваги від цієї архітектури. Оскільки прийняття рішень у режимі реального часу стає стандартом, туманні обчислення посилюють свою роль як основного рівня інфраструктури. Цей фактор продовжує прискорювати впровадження підприємств у багатьох вертикалях.

Складність розгортання та управління

Середовища Fog Computing вимагають координації між різномірним апаратним, програмним та мережевим рівнями. Керування розподіленими вузлами збільшує операційні накладні витрати порівняно з централізованими хмарними системами. Підприємства стикаються з проблемами моніторингу продуктивності географічно розподілених туманних пристроїв. Інтеграція зі застарілою інфраструктурою ускладнює терміни розгортання. Розриви у стандартизації між постачальниками обмежують безперебійну сумісність. Вимоги до кваліфікованої робочої сили збільшують витрати на впровадження. Оновлення та виправлення туманних вузлів у великих масштабах додають складності обслуговуванню. Застосування політик безпеки в розподілених системах вимагає передових інструментів. Меншим організаціям часто не вистачає ресурсів для ефективного управління туманною інфраструктурою. Ці фактори разом стримують швидше проникнення на ринок, незважаючи на сильні фундаментальні показники попиту.

Розширення IoT та додатків на периферії

Розширення Інтернету речей (IoT) у різних галузях значно посилює потребу в децентралізованій обробці даних. Туманні обчислення дозволяють

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

проводити аналітику в режимі реального часу для середовищ з великою кількістю датчиків, таких як фабрики та розумні міста. Програми з підтримкою периферійних даних генерують безперервні потоки даних, які не можуть покладатися виключно на хмарну обробку. Туманні платформи підтримують локалізоване прийняття рішень без перевантаження пропускну здатності мережі. Проекти розумної інфраструктури все частіше вбудовують туманні вузли для операційної аналітики. Пристрої охорони здоров'я отримують вигоду від миттєвого аналізу даних та сповіщень. Роздрібні торгові середовища використовують туманну аналітику для аналізу даних та автоматизації в магазинах. Транспортні системи покладаються на туманні обчислення для координації в режимі реального часу. У міру масштабування екосистем IoT туманні обчислення стають важливими для сталої продуктивності системи. Ця можливість стимулює довгострокове розширення ринку.

Проблеми безпеки та управління даними

Розподілені туманні архітектури створюють кілька точок входу для потенційних кіберзагроз. Забезпечення узгодженого контролю безпеки на всіх туманних вузлах є складним завданням. Шифрування та автентифікація даних повинні здійснюватися локально та централізовано. Дотримання нормативних вимог вимагає суворого контролю за розташуванням даних та доступом до них. Туманні середовища збільшують складність управління ідентифікацією та доступом. Обробка даних у режимі реального часу підвищує потребу в постійному моніторингу безпеки. Реагування на інциденти стає складнішим у розподілених системах. Організації повинні балансувати продуктивність із забезпеченням безпеки. Відсутність єдиних структур управління уповільнює впровадження в регульованих галузях. Вирішення цих проблем має вирішальне значення для підтримки довіри та довгострокового розгортання.

Апаратне забезпечення

Апаратне забезпечення становить приблизно 57% світового ринку Fog Computing, що робить його домінуючим сегментом завдяки високому попиту на

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

периферійні сервери, шлюзи, маршрутизатори та обладнання для промислових мереж. Підприємства розгортають обладнання для Fog Computing, щоб забезпечити локалізовану обробку даних поблизу пристроїв та датчиків Інтернету речей. Виробничий, енергетичний та транспортний сектори значною мірою покладаються на посилене обладнання для Fog Computing, здатне працювати в суворих умовах. Апаратні вузли Fog Computing зменшують затримку, усуваючи непотрібну передачу даних до централізованих хмарних систем. Аналіз ринку Fog Computing підкреслює, що надійна апаратна інфраструктура є важливою для масштабованого розгортання Fog Computing. Збільшення впровадження 5G та промислового Інтернету речей ще більше стимулює попит на високопродуктивні периферійні пристрої. Інвестиції в обладнання також підтримують безпеку даних, забезпечуючи обробку на місці. У міру розширення програм реального часу апаратне забезпечення продовжує утримувати провідну частку ринку в 57%.

Програмне забезпечення

Програмне забезпечення займає близько 43% ринку Fog Computing, що зумовлено зростанням впровадження платформ оркестрації, аналітики та безпеки, які керують розподіленими туманними середовищами. Програмне забезпечення для Fog Computing дозволяє планувати робоче навантаження, фільтрувати дані та безперешкодно інтегруватися між периферійними пристроями та хмарними платформами. Підприємства все частіше використовують програмно-визначені туманні архітектури для підвищення гнучкості та масштабованості. Аналіз галузі Fog Computing вказує на зростаючий попит на контейнерне програмне забезпечення для туману та моделі розгортання на основі мікросервісів. Програмні платформи спрощують моніторинг, оновлення та управління життєвим циклом туманних вузлів. Програмне забезпечення безпеки відіграє вирішальну роль у захисті розподілених середовищ даних. Оскільки підприємства надають пріоритет інтелектуальній автоматизації та периферійній аналітиці, програмне забезпечення продовжує зміцнювати свої позиції з часткою ринку 43%.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

За застосуванням

Розумне землеробство: Розумне землеробство займає приблизно 14% ринку Fog Computing, що зумовлено зростаючим впровадженням технологій точного землеробства. Туманні обчислення дозволяють обробляти дані в режимі реального часу з ґрунтових датчиків, метеостанцій та сільськогосподарської техніки. Локалізована аналітика підтримує негайне прийняття рішень щодо зрошення, удобрення та боротьби зі шкідниками. У звіті про дослідження ринку Fog Computing підкреслюється роль туману у зменшенні залежності від підключення у віддалених сільськогосподарських районах. Фермери отримують вигоду від підвищення врожайності та ефективності використання ресурсів. Туманні платформи підтримують автоматизоване керування обладнанням та прогнозне обслуговування. Дані, оброблені локально, покращують час відгуку та надійність. У міру розширення цифрового сільського господарства розумне землеробство зберігає свою 14% частку ринку.

Автоматизація будівель та дому: Автоматизація будівель та дому займає близько 16% ринку Fog Computing, що відображає активне впровадження в інтелектуальну житлову та комерційну інфраструктуру. Туманні обчислення дозволяють керувати освітленням, системами опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, контролю доступу та безпеки з низькою затримкою. Локальна обробка забезпечує безперебійну роботу навіть під час перебоїв у роботі мережі. Огляд ринку Fog Computing показує, що керівники будівель віддають перевагу туманним архітектурам для оптимізації енергоспоживання та аналітики зайнятості. Туманні платформи підтримують моніторинг та автоматизацію в режимі реального часу на підключених пристроях. Підвищена конфіденційність даних досягається завдяки локалізованій обробці. Інтеграція з датчиками Інтернету речей покращує швидкість реагування системи. Ці переваги підтримують 16% частку автоматизації будівель та дому.

Транспорт та логістика: Транспорт та логістика становлять приблизно 18% ринку Fog Computing, що робить їх одним з найбільших сегментів застосування.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Туманні обчислення підтримують управління дорожнім рухом у режимі реального часу, відстеження автопарку та оптимізацію маршрутів. Аналітика з низькою затримкою забезпечує зв'язок між транспортними засобами та інфраструктурою та автономне прийняття рішень. Огляд ринку Fog Computing підкреслює зростаюче впровадження в інтелектуальні автомагістралі, порти та логістичні центри. Туманні вузли обробляють дані локально для підвищення безпеки та операційної ефективності. Прогнозна аналітика підтримує планування технічного обслуговування та оптимізацію палива. Зменшення залежності від хмарного підключення підвищує надійність. Ці варіанти використання зміцнюють сильну 18% частку ринку транспорту та логістики.

Охорона здоров'я: Охорона здоров'я займає близько 17% ринку Fog Computing, що зумовлено попитом на обробку даних у режимі реального часу в умовах догляду за пацієнтами. Туманні обчислення дозволяють локалізований аналіз даних медичних пристроїв та носимих датчиків. Лікарні використовують туманні платформи для безперервного моніторингу пацієнтів та швидкої діагностики. Звіт про індустрію Fog Computing підкреслює важливість туману в чутливих до затримки медичних застосуваннях. Локальна обробка підвищує конфіденційність даних та дотримання нормативних вимог. Архітектури туманів підтримують телемедицину та послуги віддаленого догляду. Зменшення передачі даних підвищує надійність системи. У міру розширення цифрової охорони здоров'я сегмент охорони здоров'я зберігає солідну 17% частку ринку.

Роздрібна торгівля: Роздрібна торгівля займає приблизно 13% ринку Fog Computing, що підтримується впровадженням рішень для аналітики та автоматизації в магазинах. Туманні обчислення дозволяють обробляти поведінку клієнтів, рівні запасів та дані точок продажу в режимі реального часу. Роздрібні торговці використовують туманні платформи для оптимізації поповнення запасів та зменшення втрат. Аналіз ринку Fog Computing показує, що впровадження туману покращує обслуговування клієнтів завдяки персоналізованим послугам. Локальна обробка даних мінімізує затримку та витрати на мережу. Туманні

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

архітектури підтримують розумні полиці та автоматизовані системи оформлення замовлення. Підвищена безпека даних досягається завдяки локалізованій аналітиці. Ці фактори підтримують 13% частку ринку роздрібної торгівлі.

Військова галузь: Військові програми становлять близько 12% ринку Fog Computing, що відображає потребу в безпечній обробці даних у режимі реального часу в критично важливих середовищах. Туманні обчислення підтримують обізнаність про стан поля бою, системи спостереження та мережі тактичного зв'язку. Локалізована обробка забезпечує функціональність у роз'єднаних або конфліктних середовищах. Огляд ринку Fog Computing підкреслює роль туману у підвищенні операційної стійкості та швидкості прийняття рішень. Оборонні організації надають пріоритет архітектурам туману для забезпечення суверенітету та безпеки даних. Туманні платформи підтримують автономні системи та розвідку в режимі реального часу. Зниження залежності від хмари підвищує надійність виконання завдань. Ці вимоги дозволяють підтримувати 12% частку військового сегмента.

Інші: Сегмент «Інші» становить приблизно 10% ринку Fog Computing, охоплюючи комунальні послуги, енергетику, інтелектуальну інфраструктуру та державні послуги. Туманні обчислення підтримують моніторинг енергомереж, систем водопостачання та міської інфраструктури в режимі реального часу. Локальна аналітика покращує виявлення несправностей та час реагування. Огляд ринку Fog Computing демонструє зростання впровадження в управління інтелектуальними комунальними послугами. Туманні платформи зменшують використання пропускну здатності та підвищують ефективність системи. Інтеграція з пристроями Інтернету речей покращує операційну видимість. Проекти державної інфраструктури все частіше використовують туманні вузли. Ці різноманітні варіанти використання разом підтримують решту 10% частки ринку.

Інвестиційний аналіз та можливості

Приватні акціонерні товари та інституційні інвестори все частіше розглядають туманні обчислення як стратегічний рівень у ширшій екосистемі периферійних технологій та хмарних технологій. Інвестиції спрямовані на масштабовані туманні платформи, що підтримують промисловий Інтернет речей, розумні міста та критично важливі операції. Постачальники обладнання виграють від тривалих циклів заміни та постійного попиту з боку промислових клієнтів. Постачальники програмного забезпечення залучають фінансування через моделі розгортання на основі підписки та керованих послуг. Уряди продовжують стимулювати інвестиції в периферійні технології та туманні обчислення за допомогою програм цифрової інфраструктури. Стратегічні придбання допомагають більшим гравцям швидко розширювати можливості Fog Computing. Попит з боку регульованих галузей покращує видимість довгострокових контрактів. Ці фактори разом підвищують інвестиційну впевненість на ринку Fog Computing.

Постачальники все частіше розробляють туманні рішення з архітектурами plug-and-play для спрощення розгортання в підприємстві. Нові продукти зосереджені на сумісності між гетерогенними пристроями та застарілими системами. Аналітика на основі штучного інтелекту на рівні туману покращує прогнозне та автономне прийняття рішень. Функції безпеки на етапі проектування стають стандартом у нових туманних платформах. Апаратні продукти підкреслюють компактні форм-фактори для середовищ з обмеженим простором. Оновлення програмного забезпечення надають пріоритет можливостям віддаленого керування та оркестрації. Інтеграція з хмарними та периферійними фреймворками покращує масштабованість. Спеціалізовані галузеві туманні рішення запускаються для випадків використання у виробництві, охороні здоров'я та транспорті. Ці інновації продовжують покращувати перспективи ринку Fog Computing.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

3.2 Розробка структурної схеми

Еталонна архітектура

Еталонна архітектура OpenFog Reference Architecture (OpenFog RA) описує універсальну платформу Fog Computing, що застосовна для застосунків будь-яких вертикальних ринків.

Опис архітектури openfog

Цей абстрактний опис ілюструє взаємодію всіх продуктів і рішень, що формують континуум Fog Computing, і допомагає визначити їхнього завдання в інтероперабельній багатовендорній екосистемі. До складу учасників екосистеми входять виробники чипів, постачальники системних засобів і програмного забезпечення, системні інтегратори, розроблювачі застосунків.

Три верхніх рівні описують програмне забезпечення, що управляє роботою вузлів туманної мережі. Далі впливають системні рівні, що охоплюють продукти й рішення, комбінація яких здатна забезпечити створення вузлів відповідно до вимог різних галузевих сценаріїв розгортання хмарних структур. Два нижніх рівні характеризують взаємодію вузлів і периферійного встаткування.

Вертикальні стовпці містять функції, дія яких поширюється на всі рівні туманної архітектури.

До них відносяться транспорт, сільське господарство, інтелектуальні будинки й міста, охорона здоров'я, готельний бізнес, фінансові послуги й багато інших галузей, де впровадження рішень IoT здатно підвищити ефективність і безпека й забезпечити прийняття рішень у режимі реального часу.

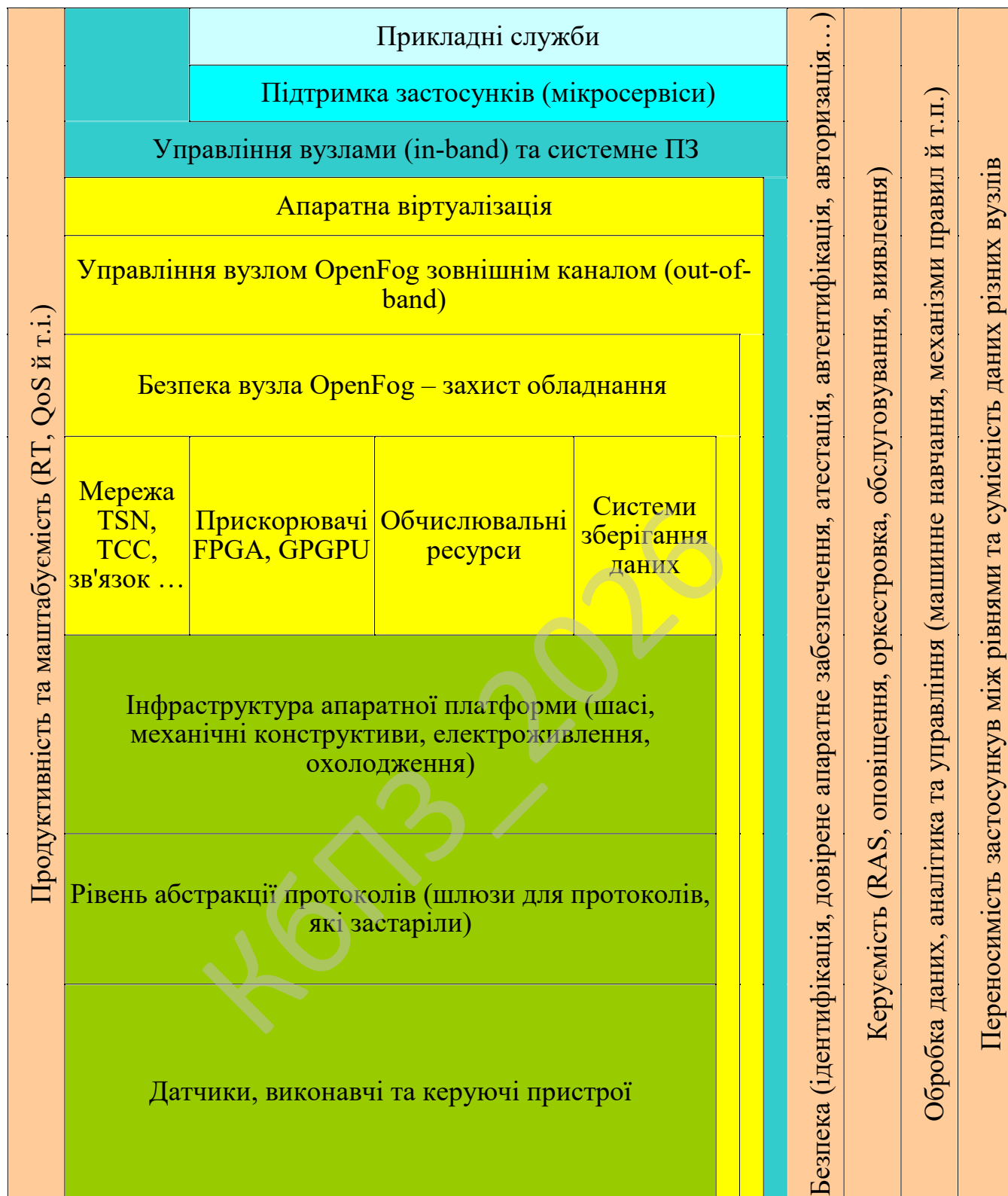


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи

Технологічний розвиток автоматизації виробничих процесів, як це видно в Індустрії 4.0, характеризується постійною революцією та еволюцією на малих та середніх заводах. Оскільки базові та передові технології зі стовпів Індустрії 4.0 поступово інтегруються в їхній ланцюжок створення вартості, ці заводи можуть досягти адаптивної технологічної трансформації. У даній роботі представлено практичне рішення для компаній, які прагнуть розвивати свої виробничі процеси на етапі розширення виробництва, починаючи з базової архітектури з функціями Індустрії 4.0, яка потім інтегрує та впроваджує спеціальні інструменти, що сприяють дублюванню встановлених потужностей; це створює ситуацію, яка дозволяє розробляти системи виконання виробництва (MES) для кожної виробничої лінії та вузол Fog Computing, який відповідає за оптимізацію балансу навантаження запитів на замовлення, що надходять з хмари, а також діє як посередник між MES та хмарою. З іншого боку, застарілі модулі прискорення логічного висновку машинного навчання (ML) були інтегровані в одноплатні комп'ютери MES для покращення робочого процесу в новій архітектурі. Ці вдосконалення та інтеграції дозволили ланцюжку створення вартості цієї розширеної архітектури мати меншу затримку, більшу масштабованість, оптимізоване використання ресурсів та підвищену стійкість до збоїв мережевих послуг порівняно з початковою.

Протягом понад десятиліття виробничі сектори поступово впроваджують різні технології та інноваційні інструменти по всьому ланцюжку поставок, забезпечуючи більш ефективне, гнучке та стає виробництво, яке принесе користь зацікавленим сторонам, таким як виробничі компанії, керівники виробництва, інженери, оператори технічного обслуговування, клієнти, постачальники, державні органи, суспільство та навколишнє середовище. Технологічні рішення, такі як системи управління енергосистемою (MES) та системи планування ресурсів підприємства (ERP), пропонують кілька передових інструментів, таких як Інтернет речей (IoT), периферійні технології, туманні обчислення (FC), хмарні обчислення, штучний інтелект (AI), цифровий двійник,

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

цифрові тіні, бази даних, голограми, віртуальна реальність змішаного забарвлення тощо, які можна інтегрувати в рамках архітектурної еталонної структури для Індустрії 4.0, залежно від потреб різних бізнес-відділів виробництва, комунікацій та управління даними – технологічна інтеграція, спрямована на нативні розумні фабрики або ті, що потребують цифрової трансформації.

Сценарій цифрової міграції в сучасній автоматизації приносить із собою кілька переваг і проблем, які необхідно вирішити, настільки, що в [1] згадується, що самі оцифровані фабрики вже генерують великий потік даних і, при обробці в хмарі, можуть спричинити затримки у виконанні виробництва та конфлікти в додатках, які працюють з наднизькою затримкою. Ця процедура знижує якість обслуговування (QoS) та якість досвіду (QoE), головним чином через відстань між кінцевими користувачами та централізованими серверами в хмарі. У таких несприятливих випадках туманні обчислення (FC) стають інноваційним рішенням, яке завдяки своїм експлуатаційним характеристикам, таким як його еталонна архітектура за стандартом IEEE 1934 та його інфраструктура для запуску промислових послуг Інтернету речей на межі виробничого заводу, може вирішити ці та інші проблеми [2, 3, 4]. Виходячи з цього контексту рішення, див. [5] зазначають, що, відповідно до щільності мережі, яку може запропонувати FC у відповідь на попит на великі обсяги даних, що генеруються інноваційними середовищами, такими як міста, транспорт, охорона здоров'я, промисловість тощо, інтеграція цієї технології скоротить, наприклад, час відгуку кіберфізичних систем (CPS), покращить прогнозне обслуговування виконавчих механізмів, а також краще розподілить завдання та відстеження продукції; останнє є вирішальною частиною цінного терміну служби активу та його ланцюжка створення вартості, що є фундаментальною ситуацією, визначеною еталонною моделлю для Індустрії 4.0 (RAMI 4.0). Аналогічно, посилання [6] вказує на те, що програми, що працюють в системах Інтернету речей, повинні керуватися з мережі

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

FC, щоб забезпечити мобільність гетерогенних та бездротових пристроїв Інтернету речей, які географічно розподілені.

Аналізуючи передумови інтелектуального виробництва, різні дослідження підкреслюють інтеграцію FC як ефективне рішення для вирішення вищезазначених проблем. Однак, впровадження цього в контексті призводить до різних перешкод під час інтеграції передових та нових технологій в рамках Індустрії 4.0. Деякі з них обмежені обчислювальною потужністю, яка використовується для виконання різних завдань, зменшення затримки, покращення споживання енергії та управління навантаженням і розподілом ресурсів. Ці ситуації надають можливості для використання потенціалу туманних та хмарних обчислень, особливо коли йдеться про розширювані архітектури, що забезпечують масштабованість, сумісність, гнучкість та модульність [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Зі свого боку, в [13] вони інтегрують архітектуру шлюзу даних у туманні обчислення, що складається з двох підпорядкованих периферійних пристроїв, які збирають, фільтрують та надсилають дані в хмару від двох мобільних роботів різних власників, використовуючи Docker та Kubernetes на недорогому одноплатному комп'ютері (SBC). Що стосується [14], вони розробили модель цілочисельного лінійного програмування (ILP) для оптимізації розташування ключових вузлів (граничних вузлів, туманних вузлів та шлюзів) в інноваційному заводському середовищі з п'ятирівневою архітектурою. Її реалізація спрямована на забезпечення повного охоплення мобільних (автономних транспортних засобів) та стаціонарних пристроїв у модульній виробничій системі на лабораторному рівні, забезпечуючи зниження витрат, покращене охоплення та якість обслуговування (QoS). У свою чергу, роблячи крок далі в поточному дослідницькому контексті, у посиланні [15] згадується, з точки зору концептуального підходу до дослідження, що системи виконання виробництва (MES) зазвичай мають хмарну архітектуру і, як наслідок, залежність від QoS для підтримки безперервного потоку інформації; ситуація, для якої автори пропонують у майбутніх дослідженнях впровадження додаткового рівня

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

FC, який буде розташований під гібридним рівнем MES у хмарі, таким чином забезпечуючи безперервну роботу заводу. У цьому контексті було запропоновано додаткові фреймворки, які глибше заглиблюються в координацію між розподіленими промисловими середовищами та моделями систем виконання виробництва (MES), підкреслюючи актуальність гнучкого керування (FC). Типовим прикладом є робота [16]], яка пропонує модель, що виявляє каскадні збої вузлів, що складають архітектуру ІоТ; тобто вона виявляє вузли розподілу з аномаліями (перевантаженням) через кібератак та втратою взаємозв'язку з вузлами служби MES, які, у свою чергу, виходять з ладу через взаємозалежність, що призводить до вертикального та горизонтального руйнування всієї мережі. Автори вирішують цю ситуацію шляхом виявлення та ізоляції заражених вузлів, тим самим знову стабілізуючи інфраструктуру, ідентифікуючи вузли, які не перевантажені або не ізолювані. Ця ситуація підвищить стійкість розподілених систем шляхом стабілізації мережі І4.0 від можливих атак.

У попередньому дослідженні [17] було проведено цифрову трансформацію модульного виробничого процесу FESTO MPS 500, який складається з п'яти робочих станцій у своїй виробничій лінії: розподіл (A), обробка (B), контроль якості (C), зберігання (D) та класифікація (E) для переходу від Індустрії 3.0 до Індустрії 4.0. Це вимагало інтеграції спеціалізованого апаратного та програмного забезпечення на різних рівнях та шарах в рамках еталонної моделі RAMI 4.0, а також легких протоколів зв'язку, хмарних та Fog Computing, MES та інтегрованих передових технологій, таких як штучний інтелект, управління локальними та хмарними базами даних, комп'ютерний зір для контролю якості продукції, комп'ютерний зір для біометричних операцій з обличчям, а також, починаючи з Fog Computing Master (FCM), управління температурою вузлів агента Fog Computing (FCS), забезпечуючи таким чином доступні обчислювальні ресурси MES1. Це дослідження продемонструвало можливість інтеграції кількох нових технологій в Індустрії 3.0 для масштабування до Індустрії 4.0.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Незважаючи на вищезазначене, цифрова трансформація, розроблена авторами, являє собою значний прогрес у практичному впровадженні процесів Індустрії 4.0 для малих і середніх підприємств. Це підтверджується еталонною моделлю DIN SPEC 91345 (RAMI 4.0), яка визначає, що ця структура, будучи гнучкою, дозволяє впроваджувати передові та новітні технології на користь цифрової трансформації, зв'язку та сумісності, тим самим сприяючи горизонтальній та вертикальній інтеграції процесів [18].

Враховуючи вищезгадані характеристики промислової еволюції, це дослідження пропонує сценарій, за якого завод, що розширюється через зростання попиту на свою продукцію, повинен вжити заходів у відповідь на цю потребу, щоб уникнути потенційних перерв у виробництві, спричинених вузькими місцями в майбутніх сценаріях. Враховуючи, що його виробнича лінія добре структурована та оптимізована до появи попиту, пропонується збільшити виробничу потужність шляхом тиражування цієї виробничої лінії без переробки її робочого процесу. Такий підхід зменшить вразливість до збоїв на одній виробничій лінії, мінімізує операційні ризики та підвищить швидкість доставки кінцевої продукції. Враховуючи цей сценарій, це дослідження пропонує використовувати іншу MPS як вторинну виробничу лінію та інтегрувати різні базові та передові технології для розробки розширеної архітектури, яка базується на початковій архітектурі. Наступні пункти описують конкретні цілі, які вважаються фундаментальними для цього розвитку та розуміння.

– Забезпечення виробничо-технологічної операційної системи (OT) з характеристиками, подібними до першої виробничої лінії MPS-500 компанії FESTO, з урахуванням бізнес-вимог щодо впровадження та адаптації передових і нових інформаційних технологій (IT) в рамках тієї ж гнучкої еталонної бази RAMI 4.0. Відповідно, для другої виробничої лінії розробляється ще одна MES.

– З двома MES для кожного MPS-500 необхідна процедура для забезпечення динамічного розподілу запитів на замовлення, розміщених на екземплярі сервісу Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2). За таких

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

обставин до архітектури між двома MES додається вузол Fog Computing, що забезпечує своєчасне рішення для балансування навантаження на основі розподілу замовлень, тим самим уникаючи перевантажень на одній виробничій лінії, коли інша доступна.

– Наразі міні-партійні замовлення на першій виробничій лінії запитуються віддаленими користувачами через вебсайт.

3.3 Розробка функціональної схеми

На рисунку 3.2 зображена функціональна схема системи. Нижче розглянемо її більш докладно. Модульна інтегрована IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018 дозволяє вибрати ті компоненти, які необхідні користувачеві.

Компоненти верхнього рівня

1. Середовище розробки. Головними функціями Середовища розробки є:

- Конфігурування системи контролю й керування.
- Створення й верифікація Баз Даних реального часу.
- Розробка графічного інтерфейсу користувача (відеокадрів бази даних).
- Вибір і настроювання алгоритмів керування.
- Імітація роботи системи контролю й керування.
- Створення ієрархічної (об'єктної) структури змінних БД.
- Створення й редагування користувальницьких скриптів.
- Надання програмного інтерфейсу (API) для створення прикладних програм користувача.

2. Сервер БД. Забезпечує виконання функцій обробки змінних БД, ведення оперативних трендів, програмного перезапуску, обробки подій, статистики, OPC-сервера, драйвера ODBC. OPC (OLE for Process Control) – набір повсюдно прийнятих специфікацій, що надають універсальний механізм обміну даними в системах контролю й керування. OPC технологія забезпечує незалежність

споживачів від наявності або відсутності драйверів або протоколів, що дозволяє вибирати встаткування й програмне забезпечення, що найбільше повно відповідає реальним потребам бізнесу.

3. Сервер АБД. Забезпечує виконання всіх функцій Сервера БД (див. Сервер БД), а також функцій обробки й зберігання архівів трендів, протоколу подій, друкованих документів від року й більше.

4. Сервер вводу-виводу. Забезпечує організацію зв'язку різних УСО з IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018 через драйвери верхнього рівня, що підключаються, (не CPB PC-сумісних контролерів), а також виконання стандартних обробок.

5. Графічний інтерфейс (з керуванням). Під керуванням розуміється можливість оператора за допомогою динамічних елементів (кнопка, поле введення й т.п.) внесення змін у роботу АСУ ТП (наприклад, зміна завдання або коефіцієнтів настроювання регуляторів, включення/вимикання виконавчих механізмів, зміна границь сигналізації, керування каналами зв'язку й резервуванням і т.д.)

6. Графічний інтерфейс (без керування). Користувач не може вносити які-небудь зміни в хід технологічного процесу, крім квітування світлової й звукової сигналізації.

7. Перегляд архівів. Обов'язковий модуль для комплексів, що працюють із архівними даними. Забезпечує доступ до архівів трендів і до архівів протоколів подій.

8. Дзеркалювання 2-х серверів БД. Дзеркалювання (періодичне резервне копіювання в режимі on-line) даних з основного в резервний сервер. Мережа, по якій здійснюється дзеркалювання, призначається Користувачем на етапі генерації. Основний і резервний сервери БД установлюються на двох різних АРМ. Дзеркалізуєма інформація: оперативна БД, тренди, друковані документи, протокол подій.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Компоненти верхнього рівня системи промислового інтернету речей з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018

OPC-сервер IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018

Багатосерверний доступ

Бібліотека драйверів верхнього рівня

Середовище розробки

Сервер БД

Файл-обмін

Сервіс друку

Сервер вводу-виводу

Сервер АБД

ODBC-драйвер

Сервер подій

Перегляд архівів

Статистика

2-х моніторний менеджер

Графічний інтерфейс (з керуванням)

Дзеркалювання 2-х серверів БД

Графічний інтерфейс (без керування)

Дзеркалювання 2-х серверів АБД

Автоматичний перезапуск апаратний

Резервування мереж

Міжсерверний обмін

Ієрархія об'єктів БД

Додаткове програмне забезпечення системи промислового інтернету речей з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018

WEB-контроль для IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018

Універсальний конвертер даних

Станція інжинірингу

Архівний центр

Модуль модемних каналів зв'язку

Компоненти нижнього рівня системи промислового інтернету речей з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018

OPC-сервер СРЧК

Бібліотека драйверів нижнього рівня

Модуль резервування мережі

Модуль міжконтролерного обміну

Модуль функції регулювання

Модуль реєстрації аварійних ситуацій

Модуль ТМ-канал

Зберігання архіву на контролері

Система Реального Часу Контролерів (СРЧК)

Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи

9. Дзеркалювання 2-х серверів АБД. Аналогічно дзеркалюванню 2-х серверів БД. Крім того, дзеркалюються архіви історичних трендів, архіви друкованих документів і архіви протоколів подій.

10. Автоматичний перезапуск апаратний. Використовується при установці в комп'ютер (АРМ) спеціальної плати автоматичного перезапуску. Разом із платою забезпечується автоматичний перезапуск операційної системи у випадках зависання й зациклення.

11. Сервіс друку. Забезпечує функції автоматичної видачі звітних документів і протоколу подій на пристрої друку.

12. Файл-обмін. Забезпечує прийом/передачу файлів даних з/у систему IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018. Даними для прийому/передачі можуть бути наступні: поточні значення змінних, атрибути змінних (параметри налаштування). Обмін файлами даних здійснюється як з ініціативи зовнішньої системи, так і з ініціативи системи IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018. Дані передаються у двійковому форматі.

13. Резервування мереж. Забезпечує виконання наступних функцій резервування: мережа контролера – сервер БД/АБД; мережа сервер БД/АБД – клієнти сервера БД/АБД (у тому числі при резервуванні серверів і клієнтів).

14. 2-х моніторний менеджер. Забезпечує функціонування АРМ із двома моніторами. Потрібна установка в системний блок комп'ютера графічного адаптера, що підтримує двомоніторний режим роботи. Реалізує функції менеджера вікон, що забезпечує просте й зручне автоматичне керування вікнами на двох моніторах.

15. Ієрархія об'єктів БД. Створення ієрархічної структури даних РВ відповідно до конструкторського, технологічного або іншого угруповання параметрів. Формування узагальнених ознак сигналізації й вибірок. Підтримує існуючі системи кодувань і дозволяє створювати власні.

16. Статистика. Дозволяє провести вибірку змінних для будь-якого часового інтервалу, за який є тренди, і застосувати бібліотечні функції

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

статистичної обробки. Можливість роботи з архівними даними. Отриманий результат може бути використаний у графічному інтерфейсі й при формуванні звітних документів

17. Сервер подій. Нова система подій створена для організації більш гнучкого й ефективного відстеження реакцій системи на виникаючі події в контрольованому об'єкті. Система подій надає Користувачеві величезні можливості по вибірках (фільтрам) найрізноманітніших видів і категорій подій, починаючи від комбінацій символів у позиції змінної (підтримка систем класифікації типу AKS, KKS і будь-яких інших), вибіркою подій по одному агрегату або пристрою й закінчуючи всіма подіями для однієї змінної. Для обробки, формування й візуалізації подій розроблені й істотно модифіковані багато компонентів як середовища розробки, так і середовища виконання IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

18. Міжсерверний обмін. Міжсерверний обмін призначений для прямого обміну інформацією між серверами різних АСУ ТП на базі IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018. Обмін виробляється паспортами обраних змінних і пов'язаними з ними подіями. Дозволяє будувати системи контролю й керування зі складними багатоваріантними архітектурами й функціоналом.

19. Багатосерверний доступ. Багатосерверний доступ – це можливість легкого перемикавання доступу клієнтських станцій до декількох Серверів бази даних через інтерфейс Користувача. Клієнтські додатки одержують можливості по керуванню й діагностиці декількох Серверів бази даних: відображення узагальненої звукової сигналізації із заданих Серверів БД; зміна графічного проекту й підключення клієнта до іншого Сервера БД по команді із графічного інтерфейсу.

20. OPC-сервер IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018 (специфікація DA+HDA). Модуль призначений для передачі оперативних і архівних даних з IoT з використанням Fog Computing на основі

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

стандарту IEEE 1934:2018 у системи сторонніх виробників відповідно до стандартів OPC DA і OPC HDA.

21. Бібліотека драйверів верхнього рівня. Безкоштовна бібліотека драйверів для різних контролерів, модулів введення/виводу й інших цифрових приладів.

22. ODBC-драйвер. Відкритий інтерфейс доступу до БД IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018 являє собою бібліотеку функцій, що дозволяє прикладній програмі звертатися до бази даних IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018, використовуючи структуровану мову запитів SQL.

Додаткове програмне забезпечення

1. WEB-контроль для IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018. Забезпечує перегляд поточної інформації у вигляді мнемосхем, друкованих документів, трендів, протоколу подій на будь-якому персональному комп'ютері за допомогою MS Internet Explorer. Взаємодіє із серверами БД і АБД. Підтримка списку улюблених кадрів. Захист від несанкціонованого доступу. Можлива робота як у режимі без функцій керування, так і з функціями керування.

2. Універсальний конвертер даних. Конвертує дані (у т.ч. друковані документи, тренди, протоколи повідомлень) у формат MS Excel і XML. Дозволяє робити вибірку по параметрах і за часом.

3. Архівний центр. Призначений для збору архівних і інших даних від різних АСУ ТП, побудованих на базі пакета IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018 для Windows, з подальшою можливістю їхнього перегляду. Має власний протокол подій, колірну й звукову сигналізацію, має можливість дубльованого копіювання даних. Для перегляду архівів на комп'ютері Архівного центра необхідно мати або Середовище Розробки (поставляється безкоштовно), або Універсальний конвертер даних.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

4. Модуль модемних каналів зв'язку. Дозволяє будь-яким драйверам IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018 і OPC-серверам, використовувати GSM– і GPRS-канали стільникових мереж, лінії телефонної мережі, що комутирується, загального користування й інші модемні канали зв'язку.

5. Станція інжинірингу. Конфігурування й настроювання контролерів; діагностика роботи контролерів у режимі реального часу. Віддалене програмування контролерів під керуванням СРЧК. Крім того, станція інжинірингу дозволяє робити діагностику каналів зв'язку, а також виконувати ряд додаткових сервісних функцій.

Компоненти нижнього рівня

1. Система Реального Часу Контролерів (СРЧК).

До складу базової версії середовища виконання контролерів входять:

- Модулі зв'язку зі станцією оператора.
- Модуль зв'язку зі станцією інжинірингу.
- Драйвери плат введення/виводу.
- Модуль сервера бази даних реального часу.
- Служба автовідновлення програм.
- Модуль візуалізації.
- Передача керування резервному процесорному модулю у випадку виходу з ладу основного процесорного модуля.
- Дзеркалювання даних з основного процесорного модуля контролера на резервний і забезпечення автоматичного відновлення інформації про зміни конфігурації на резервному процесорному модулі.
- Забезпечення ненаголошеного переходу регуляторів при переході з основного на резервний процесорний модуль.
- Передача керування резервному контролеру у випадку виходу з ладу процесорного модуля або модулів введення/виводу основного контролера.

- Дзеркалювання даних з основного контролера на резервний, діагностика каналів передачі даних .
- Забезпечення ненаголошеного переходу регуляторів при переході з основного на резервний контролер або процесорний модуль.
- Синхронізація контролерів при старті (або команді оператора) шляхом повного дзеркалювання даних СРЧК по дубльованим мережам Ethernet.
- Збереження безперервності інформаційного обміну при відмові одного із процесорних модулів або каналів введення/виводу.
- Забезпечення ненаголошеного переходу регуляторів при відмові одного з контролерів кластера.

2. Модуль міжконтролерного обміну. Модуль міжконтролерного обміну призначений для створення розподілених систем з використанням обміну даними між декількома контролерами. Модуль виконує наступні функції:

- обмін оперативними й розрахунковими значеннями бази даних;
- обмін значеннями атрибутів змінні бази даних;
- підтримка резервування мережі Ethernet для міжконтролерного обміну;
- діагностика каналів зв'язку міжконтролерного обміну.

3. Модуль резервування мережі. Модуль робить діагностику мережі Ethernet для зв'язку із сервером БД/АБД, реєстрацію несправностей мережі й забезпечує можливість автоматичного переходу на резервну мережу у випадку відмови одного з каналів зв'язку.

4. Модуль реєстрації аварійних ситуацій (РАС). Модуль РАС використовується для реєстрації аварійних ситуацій у контролері, тобто для збереження заздалегідь заданих параметрів у певному інтервалі часу при виникненні аварійної ситуації. Модуль забезпечує період реєстрації від 50 мс.

Модуль виконує наступні функції:

- Підтримка двох режимів реєстрації РАС:
 - а) режим реєстрації значень параметрів із заданою періодичністю;
 - б) режим реєстрації значень параметрів по зміні.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

– Формування перед– і післяаварійних протоколів на енергонезалежному накопичувачі в контролері. Для перегляду протоколів РАС використовується спеціалізована програма верхнього рівня.

При цьому модуль має можливості:

- контролювати кілька РАС;
- задавати кілька умов формування РАС;
- налаштовувати період і глибину реєстрації.

5. Модуль функції регулювання. Модуль забезпечує підтримку регуляторів. Дозволяє створювати контури ПІД-регулювання (у тому числі каскадного й багатозв'язного). Користувальницькі алгоритми, розгалужена система сигналізацій, функції динамічних і статичних балансувань, компенсації люфтів, а також безліч інших додаткових налаштувань дозволяють реалізувати найрізноманітніші системи регулювання.

6. Зберігання архіву на контролері. Дозволяє формувати й зберігати архіви в пам'яті контролера. Архіви можуть зберігатися як в оперативній, так і в енергонезалежній пам'яті контролера залежно від розв'язуваного завдання.

7. Модуль ТМ-канал. ТМ-канал дозволяє організувати інформаційний обмін по повільних і нестійких каналах зв'язку. Ідеально підходить для зв'язку із пристроями по радіоканалі або GSM/ GPRS-каналу низької якості й т.п.

8. Бібліотека драйверів нижнього рівня. Дозволяє організувати інформаційний обмін між контролером під керуванням СРЧК і різноманітними приладами, модулями введення/виводу, панелями операторів, а також контролерами під керуванням власних ОС, таких як Omron, CIU 850 серії й т.д. Багато хто із драйверів мають додаткового функціонала, наприклад, дозволяють використовувати резервуємі канали зв'язку, зчитувати архіви приладів і т.д.

9. OPC-сервер СРЧК (підтримка специфікації DA+HDA). Призначений для передачі оперативних і архівних даних відповідно до стандарту OPC з контролера під керуванням СРЧК у будь-які SCADA/HMI-системи сторонніх виробників (IoT з використанням Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018 підтримує

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

прямий інформаційний обмін з контролером), може бути використаний для одночасної передачі даних у кілька інформаційних систем верхнього рівня.

Розглянувши усі блоки функціональної схеми перейдемо до розгляду діаграми взаємодії процесів, які відбуваються у системі.

3.4 Розробка діаграми процесів

Розглянемо розроблену діаграму процесів яка зображена на рисунку 3.3. Основна будова діаграми процесів полягає у графічному представленні складу сукупностей даних, що характеризуються як співвідношення різних частин кожної з сукупностей. Склад статистичної сукупності графічно може бути представлений як за допомогою абсолютних, так і відносних показників. Графічне зображення складу сукупності по абсолютними і відносними показниками сприяє проведенню більш глибокого аналізу і дозволяє проводити аналіз системи. Діаграма взаємодії процесів використовується для візуалізації процесів обробки даних (структурне проектування). Для розробника вважається звичним спочатку креслити діаграму взаємодії процесів даних рівня контексту, завдяки чому буде показано взаємодію системи.

Ця діаграма в подальшому підлягає уточненню шляхом деталізації процесів та потоків даних з метою показати систему що розробляється.

При детальному її розгляді можна побачити як саме проходить взаємодія у розробленій системі. Використовується модель проектування, графічне представлення «потоків» даних в інформаційній системі.

Діаграми потоків даних містять чотири типи елементів:

- Зовнішні по відношенню до системи сутності.
- Процеси які являють собою трансформацію даних в рамках описуваної системи.
- Сховища даних (репозиторії).

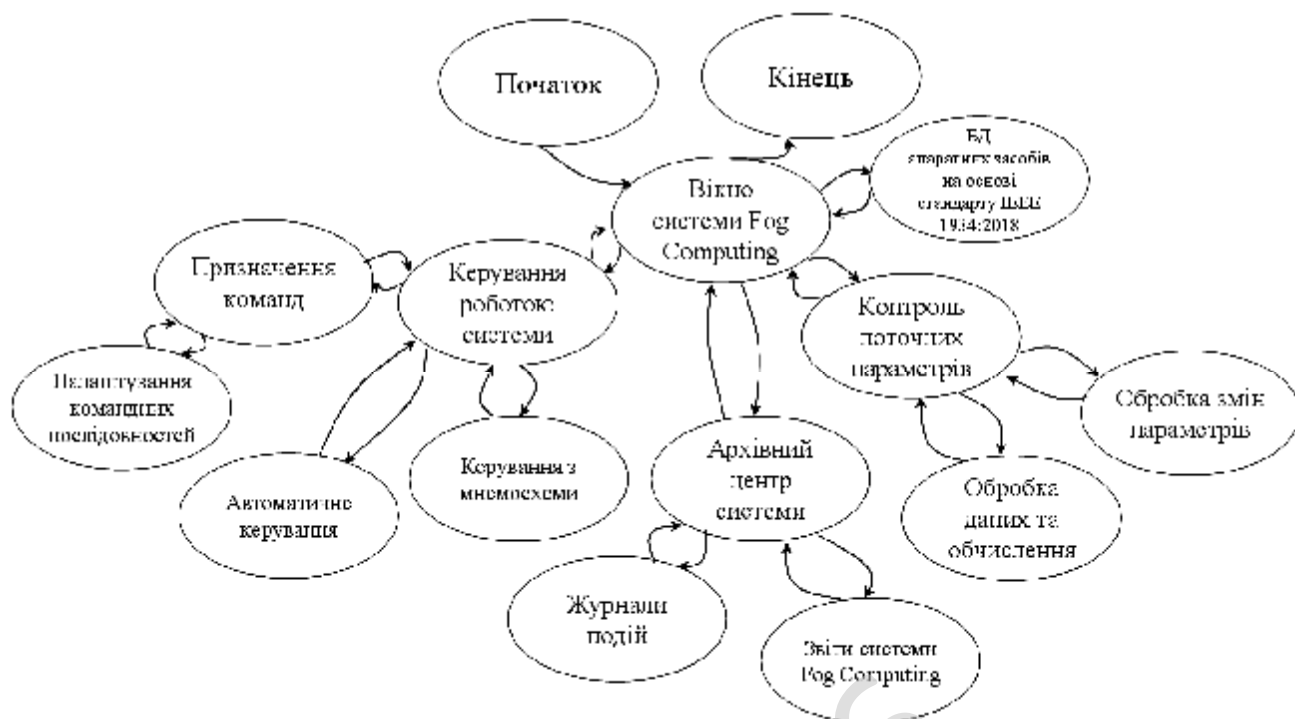


Рисунок 3.3 – Діаграма взаємодії процесів

Таким чином, розглянувши опис системи, структурну, функціональну схеми системи, та діаграму взаємодії процесів перейдемо до опису блок-схем основної програми, та підпрограм, які використовуються, для реалізації системи.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ. РОЗРАХУНКИ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Блок-схеми та опис алгоритмів функціонування системи

Розглянемо реалізацію бакалаврської дипломної роботи. Були проведені розрахунки і підібрані набори тестових даних для перевірки правильності реалізації проектних рішень.

Було створено блок-схеми роботи системи. Перед їх розглядом необхідно провести роз'яснення який саме тип блок-схем використовується. Блок-схеми показують весь процес роботи системи з підсистемами та частково доказують правильність вибраних проектних рішень. Тому від точності і детальної блок-схеми залежить результат всієї програми. При виборі початкової точки відліку при побудові схем було враховано, що виходячи з вибору мови програмування і інших технічних засобів, програма буде об'єктно-орієнтована що вимагає високого рівня декомпозиції задач на класи.

На рисунку 4.1 зображена основна блок-схема програми, на рисунку 4.2 зображено роботу підпрограми. З яких видно що робота основної програми складається з початкових етапів ініціалізації ПЗ, перевірки наявності ресурсів системи, блоку початку основного циклу з чеканням запиту від користувача в якому відбувається виклик підсистеми та останньої стадії – перевірка поточного стану з завершенням роботи розробленого ПЗ. При роботі підпрограми виконується основний функціонал системи з циклічними послідовностями, перевіркою поточного стану та поверненням в основну програму прапорів стану виконання. Було використано наступні підходи UML: діаграма діяльності (діаграми поведінки типу); діаграма прецедентів (діаграми поведінки типу); Діаграма класів; Діаграма компонент.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

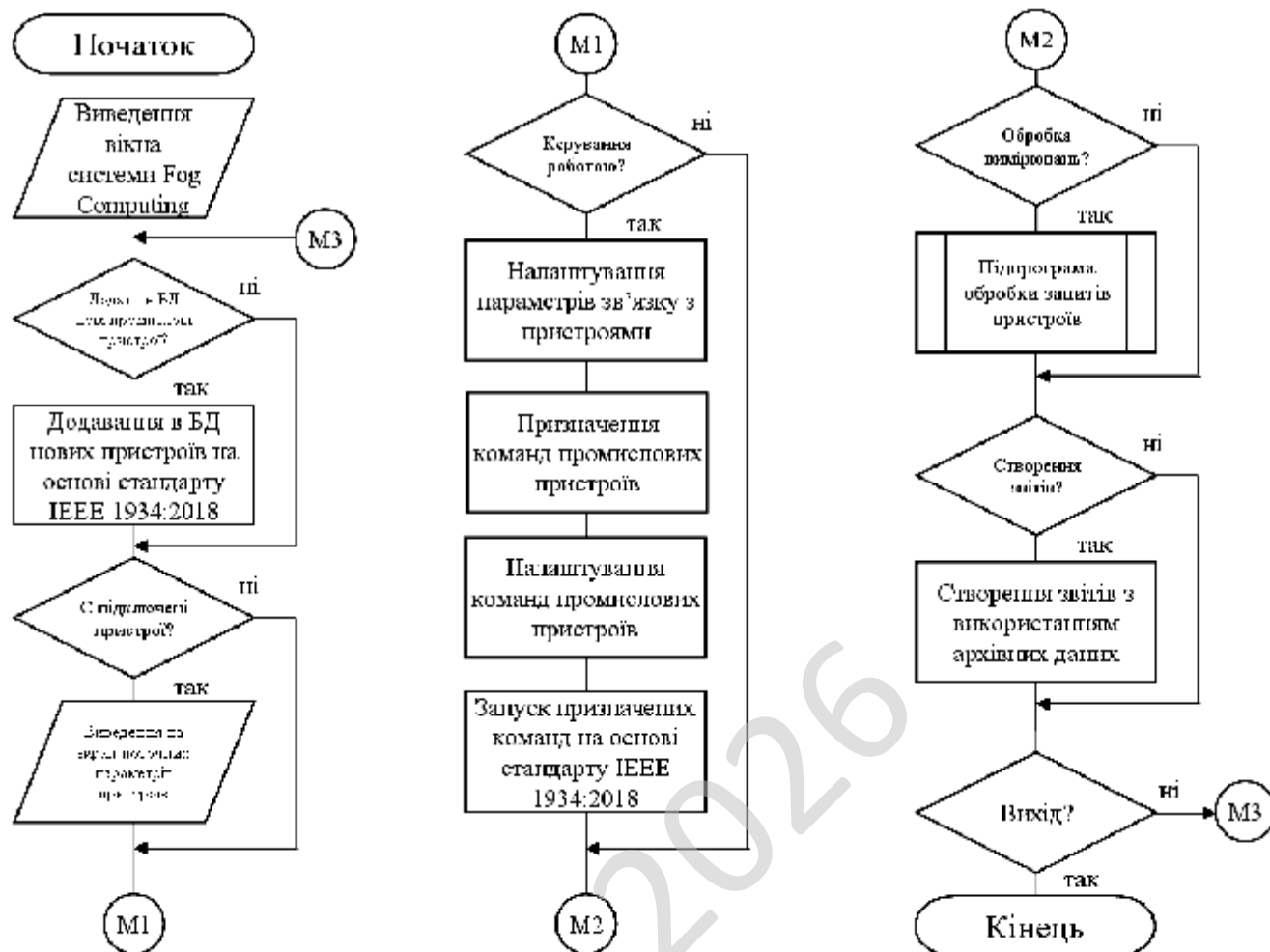


Рисунок 4.1 – Блок-схема основної програми

Діаграма діяльності. Це візуальне представлення графу діяльностей. Граф діяльностей є різновидом графу станів скінченного автомату, вершинами якого є певні дії, а переходи відбуваються по завершенню дій. Дія є фундаментальною одиницею визначення поведінки в специфікації. Дія отримує множину вхідних сигналів, та перетворює їх на множину вихідних сигналів.

Одна із цих множин, або обидві водночас, можуть бути порожніми. Виконання дії відповідає виконанню окремої дії. Подібно до цього, виконання діяльності є виконанням окремої діяльності, буквально, включно із виконанням тих дій, що містяться в діяльності.

Кожна дія в діяльності може виконуватись один, два, або більше разів під час одного виконання діяльності. Щонайменше, дії мають отримувати дані, перетворювати їх та тестувати, деякі дії можуть вимагати певної послідовності.

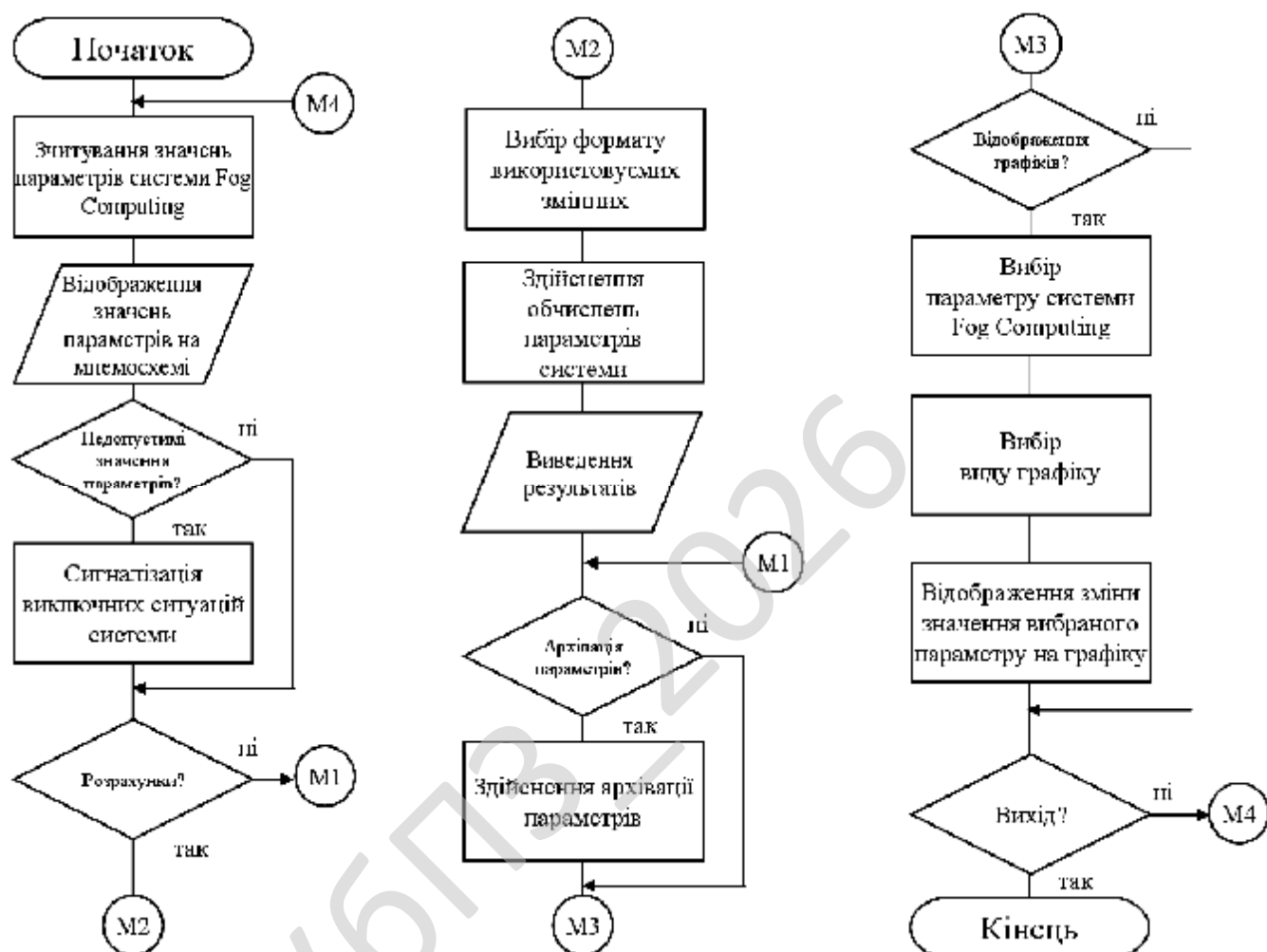


Рисунок 4.2 – Блок-схема роботи підпрограми

Специфікація діяльності (на вищих рівнях сумісності) може дозволяти виконання декількох (логічних) потоків, та існування механізмів синхронізації для гарантування виконання дій у правильному порядку.

Діаграма прецедентів це діаграма, на якій зображено відношення між акторами та прецедентами в системі. Також, перекладається як діаграма варіантів використання.

Діаграма прецедентів є графом, що складається з множини акторів, прецедентів (варіантів використання) обмежених границею системи (прямокутник), асоціацій між акторами та прецедентами, відношень серед прецедентів, та відношень узагальнення між акторами. Діаграми прецедентів відображають елементи моделі варіантів використання.

Суть даної діаграми полягає в наступному: проєктована система представляється у вигляді безлічі сутностей чи акторів, що взаємодіють із системою за допомогою так званих варіантів використання. Варіант використання (use case) використовують для описання послуг, які система надає актору. Іншими словами, кожен варіант використання визначає деякий набір дій, який виконує система при діалозі з актором.

При цьому нічого не говориться про те, яким чином буде реалізована взаємодія акторів із системою.

У мові UML є кілька стандартних видів відношень між акторами і варіантами використання:

- асоціації (association relationship);
- включення (include relationship);
- розширення (extend relationship);
- узагальнення (generalization relationship).

При цьому загальні властивості варіантів використання можуть бути представлені трьома різними способами, а саме – за допомогою відношень включення, розширення і узагальнення.

Відношення асоціації – одне з фундаментальних понять у мові UML і в тій чи іншій мірі використовується при побудові всіх графічних моделей систем у формі канонічних діаграм.

Включення (include) у мові UML – це різновид відношення залежності між базовим варіантом використання і його спеціальним випадком. При цьому відношенням залежності (dependency) є таке відношення між двома елементами

моделі, при якому зміна одного елемента (незалежного) приводить до зміни іншого елемента (залежного).

Відношення розширення (extend) визначає взаємозв'язок базового варіанта використання з іншим варіантом використання, функціональна поведінка якого задіюється базовим не завжди, а тільки при виконанні додаткових умов.

Діаграма класів це статичне представлення структури моделі. Відображає статичні (декларативні) елементи, такі як: класи, типи даних, їх зміст та відношення.

Діаграма класів, також, може містити позначення для пакетів та може містити позначення для вкладених пакетів. Також, діаграма класів може містити позначення деяких елементів поведінки, однак їх динаміка розкривається в інших типах діаграм.

Діаграма класів (class diagram) служить для представлення статичної структури моделі системи в термінології класів об'єктно-орієнтованого програмування. На цій діаграмі показують класи, інтерфейси, об'єкти й кооперації, а також їхні відносини.

В UML існують наступні типи зв'язків які використовуються у діаграмі класів: Асоціації; Агрегація; Композиція.

Асоціації це якщо між двома класами визначена асоціація, то можна переміщатися від об'єктів одного класу до об'єктів іншого. Цілком припустимі випадки, коли обидва кінці асоціації відносяться до одного і того ж класу. Це означає, що з об'єктом деякого класу дозволено зв'язати інші об'єкти з того ж класу. Асоціація, що зв'язує два класи, називається бінарної. Можна, хоча це рідко буває необхідним, створювати асоціації, що зв'язують відразу кілька класів. Графічно асоціація зображується у вигляді лінії, що з'єднує клас сам з собою або з іншими класами.

Асоціації може бути присвоєно ім'я, яке описує природу відносини. Зазвичай ім'я асоціації не вказується, якщо тільки ви не хочете явно задати для неї рольові імена або у вашій моделі настільки багато асоціацій, що виникає

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

необхідність посилається на них і відрізняти один від одного. Ім'я буде особливо корисним, якщо між одними і тими ж класами існує кілька різних асоціацій.

Клас, що бере участь в асоціації, грає в ній деяку роль. По суті, це "обличчя", яким клас, що знаходиться на одній стороні асоціації, звернений до класу з іншого її боку. Можна явно позначити роль, яку клас грає в асоціації.

Часто при моделюванні буває важливо вказати, скільки об'єктів може бути пов'язано допомогою одного примірника асоціації. Це число називається кратністю (Multiplicity) ролі асоціації та записується або як вираз, значенням якого є діапазон значень, або в явному вигляді.

Вказуючи кратність на одному кінці асоціації, ви тим самим говорите, що на цьому кінці саме стільки об'єктів повинно відповідати кожному об'єкту на протилежному кінці. Кратність можна задати рівною одиниці (1), можна вказати діапазон: "нуль або одиниця" (0..1), "багато" (0 .. *), "одиниця або більше" (1 .. *). Дозволяється також вказувати певне число (наприклад, 3). За допомогою списку можна задати і більш складні кратності, наприклад 0. . 1, 3..4, 6 .. *, що означає "будь-яке число об'єктів, крім 2 і 5".

Агрегація це проста асоціація між двома класами відображає структурний відношення між рівноправними сутностями, коли обидва класу знаходяться на одному концептуальному рівні і ні один не є більш важливим, ніж інший. Але іноді доводиться моделювати відношення типу «частина/ціле», в якому один з класів має більш високий ранг (ціле) і складається з декількох менших за рангом (частин).

Ставлення такого типу називають агрегацією; воно зараховане до відносин типу «має» (з урахуванням того, що об'єкт-ціле має кілька об'єктів-частин). Агрегація є окремим випадком асоціації і зображується у вигляді простої асоціації з незафарбованим ромбом з боку «цілого». Графічно агрегація представляється порожнім ромбом на боці класу, і лінією, яка від цього ромба до міститься класу.

Композиція це більш суворий варіант агрегації. Відома також як агрегація за значенням.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Композиція має жорстку залежність часу існування екземплярів класу контейнера та примірників містяться класів. Якщо контейнер буде знищений, то весь його вміст буде також знищено. Графічно представляється як і агрегація, але з зафарбовані ромбиком.

Діаграма компонент в UML це діаграма, на якій відображаються компоненти, залежності та зв'язки між ними.

Діаграма компонент відображає залежності між компонентами програмного забезпечення, включаючи компоненти вихідних кодів, бінарні компоненти, та компоненти, що можуть виконуватись.

Модуль програмного забезпечення може бути представлено в якості компоненти. Деякі компоненти існують під час компіляції, деякі – під час компонування, а деякі під час роботи програми.

Діаграма компонент відображає лише структурні характеристики, для відображення окремих екземплярів компонент слід використовувати діаграму розгортання.

Компоненти об'єднуються разом використовуючи структурні зв'язки (assembly connector) щоб об'єднати інтерфейси двох компонент. Це ілюструє зв'язок типу «клієнт-сервер».

Структурна взаємодія – «зв'язок двох компонент, який передбачає, що один з них надає послуги, потрібні іншому компоненту».

При використанні діаграми компонент щоб показати внутрішню структуру компонента, клієнтські та серверні інтерфейси можуть утворювати пряме з'єднання з внутрішніми. Таке з'єднання називається з'єднанням делегації.

PostgreSQL (вимовляється «Пост-грес-К'ю-ель», або «постгрес») об'єктно-реляційна система керування базами даних (СКБД).

Є альтернативою як комерційним СКБД (Oracle Database, Microsoft SQL Server, IBM DB2 та інші), так і СКБД з відкритим кодом (MySQL, Firebird, SQLite).

Порівняно з іншими проектами з відкритим кодом, такими як Apache, FreeBSD або MySQL, PostgreSQL не контролюється якоюсь однією компанією, її розробка можлива завдяки співпраці багатьох людей та компаній, які хочуть використовувати цю СКБД та впроваджувати у неї найновіші досягнення.

Сервер PostgreSQL написаний на мові C. Зазвичай розповсюджується у вигляді набору текстових файлів із сирцевим кодом. Для інсталяції необхідно відкомпілювати файли на своєму комп'ютері і скопіювати в деякий каталог. Весь процес детально описаний в документації.

PostgreSQL – широко розповсюджена система керування базами даних з відкритим сирцевим кодом. Прототип був розроблений в Каліфорнійському університеті Берклі в 1987 році під назвою POSTGRES, після чого активно розвивався і доповнювався. В червні 1990 року з'явилась друга версія із переробленою системою правил маніпулювання та роботи з таблицями, у 1991 році – третя версія, із доданою підтримкою одночасної роботи кількох менеджерів збереження, покращеним механізмом запитів і доповненою системою внутрішніх правил. В цей час POSTGRES використовувався для реалізації великих систем, таких як: система аналізу фінансових даних, пакет моніторингу функціональності потоків, база даних відстеження астероїдів, система медичної інформації, кілька географічних систем. POSTGRES також використовувався як навчальний інструмент в кількох університетах. 1992 року POSTGRES став головною СКБД наукового комп'ютерного проекту Sequoia 2000. 1993 року кількість користувачів подвоїлась.

Стало зрозуміло, що для підтримки й подальшого розвитку необхідні великі витрати часу на дослідження баз даних, тому офіційно проект Берклі було зупинено на версії 4.2. 1994 року Andrew Yu і Jolly Chen додали інтерпретатор мови SQL, вдосконалили сирцевий код і виклали в Інтернеті свою реалізацію під назвою Postgres95. 1996 року програмний продукт було перейменовано на PostgreSQL із початковою версією 6.0. Подальшою підтримкою

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

й розробкою займається група спеціалістів у галузі баз даних, які добровільно приєдналися до цього проекту.

Основні можливості, функції

Функції дозволяють виконувати деякий код безпосередньо сервером бази даних. Ці функції можуть бути написані на SQL, який має деякі примітивні програмні оператори, такі як галуження та цикли. Але гнучкішою буде функція написана на одній із мов програмування, з якими PostgreSQL може працювати. До таких мов належать:

Вбудована мова, яка зветься PL/pgSQL, подібна до процедурної мови PL/SQL компанії Oracle.

Мови розробки сценаріїв: PL/Perl, PL/Python, PL/Tcl, PL/Ruby, PL/sh.

Класичні мови програмування C, C++, Java (за допомогою PL/Java).

Функції можуть виконуватись із привілеями користувача, який її викликав, або із привілеями користувача, який її написав.

Основні можливості, індекси

У PostgreSQL є підтримка індексів наступних типів: B-дерево, хеш, R-дерево, GiST, GIN. При необхідності можна створити нові типи індексів.

Основні можливості, багатоверсійність (MVCC)

PostgreSQL підтримує одночасну модифікацію БД декількома користувачами за допомогою механізму Multiversion Concurrency Control (MVCC). Завдяки цьому виконуються вимоги ACID, і практично відпадає потреба в блокуванні зчитування.

Основні можливості, типи даних

PostgreSQL підтримує великий набір вбудованих типів даних:

1. Числові типи.
2. Цілі.
3. Грошовий тип.
4. Символьні типи довільної довжини.
5. Двійкові типи (включаючи BLOB).

6. Типи «дата/час».
7. Булевий тип.
8. Перерахування.
9. Геометричні примітиви.
10. Мережеві типи.
11. UUID-ідентифікатор.
12. XML-дані.
13. JSON-дані.
14. Масиви.
15. OID-типи.

Крім того, користувач може самостійно створювати нові необхідні йому типи та програмувати для них механізми індексування за допомогою GiST.

Основні можливості, об'єкти користувача

PostgreSQL може бути розширено користувачем для власних потреб практично в будь-якому аспекті. Є можливість додавати власні:

1. Перетворення типів.
2. Типи даних.
3. Домени (для користувача типи з самого початку з накладеними обмеженнями).
3. Функції (включаючи агрегатні).
4. Індeksi.
5. Оператори (включаючи перевизначення вже існуючих).

Основні можливості, успадкування

Таблиці можуть успадковувати характеристики та набори полів від інших таблиць (батьківських). При цьому дані, які додаються до породженої таблиці, автоматично будуть брати участь (якщо це не вказано окремо) в запитах до батьківської таблиці. Цей функціонал в поточний час не є повністю завершеним. Однак він достатній для практичного використання.

Основні можливості, тригери

Тригери визначаються як функції, що ініціюються DML-операціями. Наприклад, операція INSERT може запускати тригер, що перевіряє доданий запис на відповідність певним умовам. Тригери можна писати різними мовами програмування. Вони пов'язані з визначеною таблицею. Множинні тригери виконуються в алфавітному порядку.

Інші можливості

1. Дотримання принципів ACID.
2. Відповідність стандартам ANSI SQL-92 і SQL-99.
3. Підтримка запитів з OUTER JOIN, UNION, UNION ALL, EXCEPT і під запитів.
4. Послідовності.
5. Контроль цілісності.
6. Реплікація.
7. Загальні табличні вирази й рекурсивні запити.
8. Аналітичні функції.
9. Підтримка Unicode (UTF-8).
10. Підтримка регулярних виразів у стилі Perl.
11. Вбудована підтримка SSL і Kerberos.
12. Протокол поділюваних блокувань.
13. Завантажувані розширення, підтримують SHA1, MD5, XML і іншу функціональність (API відкритий).
14. Засоби для генерації сумісного з іншими системами SQL-коду та імпорту з інших систем.

Надійність

Згідно з результатами автоматизованого дослідження різного ПЗ на предмет помилок, у вихідному коді PostgreSQL було знайдено 20 проблемних місць на 775 000 рядків вихідного коду (в середньому, одна помилка на 39 000 рядків коду). Для порівняння:

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

1. MySQL – 97 проблем, одна помилка на 4 000 рядків коду.
2. FreeBSD – 306 проблем, одна помилка на 4 000 рядків коду.
3. Linux (тільки ядро) – 950 проблем, одна помилка на 10 000 рядків коду.

NetBIOS (Network Basic Input/Output System) – протокол для роботи в локальних мережах на персональних ЕОМ типу IBM/PC, розроблений у вигляді інтерфейсу, який не залежить від фірми-виробника. Був розроблений фірмою Sytek Corporation за замовленням IBM в 1983 році. Він включає в себе інтерфейс сеансового рівня (англ. NetBIOS interface), в якості транспортних протоколів використовує TCP і UDP.

Особливістю NetBIOS є можливість його роботи поверх різних протоколів, найпоширенішими/відомими з яких є NetBEUI, IPX і стек протоколів TCP/IP; причому якщо старі версії Windows орієнтувалися на більш легкі в реалізації і менш ресурсомісткі NetBEUI і IPX, то сучасні Windows орієнтуються на TCP/IP.

При використанні NetBEUI і IPX NetBIOS сам забезпечує надійність доставки даних (функціональність SPX не використовувати), а при використанні TCP/IP надійність доставки забезпечує TCP, за що удостоївся окремого імені «NBT».

Інтерфейс NetBIOS являє собою типовий інтерфейс взаємодії програм (API) для забезпечення мережесих операцій введення-виведення і управління транспортним протоколом.

Програми, що використовують NetBIOS API інтерфейс, можуть працювати тільки при наявності протоколу, що допускає використання такого інтерфейсу.

NetBIOS також визначає протокол, що функціонує на сеансовому/транспортному рівнях моделі OSI. Цей протокол використовується протоколами нижчих рівнів, такими як NBFP (NetBEUI) і NetBT для виконання мережесих запитів вводу-виводу і операцій, описаних в стандартному інтерфейсному наборі команд NetBIOS.

Тобто, NetBIOS сам не підтримує виконання файлових операцій. Ця функція покладається на протоколи нижчих рівнів, а сам NetBIOS забезпечує тільки зв'язок з цими протоколами і NetBIOS API-інтерфейс.

Пакет NETBIOS створений для використання групою EOM. Підтримує як режим сесій (робота через з'єднання), так і режим дейтаграм (без встановлення з'єднання). 16-символьні імена об'єктів в NETBIOS розподіляються динамічно.

NETBIOS має власну DNS, яка може взаємодіяти з інтернетівськй. Ім'я об'єкта при роботі з NETBIOS не може починатися з символу *.

Додатки можуть знайти через NETBIOS потрібні їм ресурси, встановити зв'язок і послати або отримати інформацію. NETBIOS використовує для служби імен порт 137, для служби дейтаграм – порт 138, а для сесій – порт 139. Будь-яка сесія починається з NETBIOS-запиту, завдання IP-адреси і визначення TCP-порту віддаленого об'єкта, далі йде обмін NETBIOS-повідомленнями, після чого сесія закривається.

Сесія здійснює обмін інформацією між двома NETBIOS – додатками. Довжина повідомлення лежить в межах від 0 до 131 071 байт. Припустимо одночасне встановлення декількох сесій між двома об'єктами.

При організації IP-транспорту через NETBIOS IP-дейтаграмма вкладається в NETBIOS-пакет. Інформаційний обмін відбувається в цьому випадку без встановлення зв'язку між об'єктами. Імена NETBIOS повинні містити в собі IP-адреси. Так, частина NETBIOS-адреси може мати вигляд IP.XX.XX. XX. XX, де IP вказує на тип операції (IP через Netbios), а XX. XX. XX.XX – IP– адреса.

Система NETBIOS має власну систему команд (call, listen, hang up, send, receive, session status, reset, cancel, adapter status, unlink, remote program load) і примітивів для роботи з дейтаграммами (send datagram, send broadcast datagram, receive datagram , receive broadcast datagram).

Всі кінцеві вузли NETBIOS діляться на три типи:

- широкомовні («b») вузли;
- вузли точка-точка («p»);

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

– вузли змішаного типу («m»).

IP-адреса може асоціюватися з одним із зазначених типів. В-вузли встановлюють зв'язок зі своїм партнером за допомогою широкомовних запитів. Р– і М-вузли для цієї мети використовують netbios сервер імен (NBNS) і сервер розподілу дейтаграм (NBDD).

NetBIOS забезпечує:

- реєстрацію і перевірку мережеских імен;
- встановлення і розрив з'єднань;
- зв'язок з підтвердженням доставки інформації;
- зв'язок без підтвердження доставки інформації;
- підтримку управління і моніторингу драйвера і мережевої карти.

4.2 Захист розробленого програмного забезпечення

Для захисту розробленого програмного забезпечення запропоновано використовувати алгоритм REDOC III, який оперує з 80-бітовим блоком. Довжина ключа може змінюватися й досягати 2560 байт (204800 біт). Алгоритм складається тільки з операцій XOR над байтами ключа й відкритого тексту, перестановки й підстановки не використовуються.

1. Створюють таблицю ключів з 256 10-байтових ключів, використовуючи секретний ключ.

2. Створюють два 10-байтових блоки масок M1 і M2. M1 являє собою результат операції XOR перших 128 10-байтових ключів, а M2 – результат операції XOR других 128 10-байтових ключів.

3. Для шифрування 10-байтового блоку:

а. Виконують операцію XOR з першим байтом блоку даних і першим байтом M1. Вибирають ключ у таблиці ключів, розрахованої в раунді 1. Використовують обчислене значення XOR як індекс таблиці. Виконують

операцію XOR з кожним, крім першого, байтом блоку даних і відповідним байтом обраного ключа.

б. Виконують операцію XOR із другим байтом блоку даних і другим байтом M1. Вибирають ключ у таблиці ключів, розрахованої в раунді 1. Використовують обчислене значення XOR як індекс таблиці. Виконаєте операцію XOR з кожним, крім другого, байтом блоку даних і відповідним байтом обраного ключа.

с. Продовжують ці дії з усім блоком даних (з 3-10 байтами), поки не буде використаний кожний байт для вибору ключа з таблиці після виконання операції XOR з ним і відповідним значенням M1. Потім виконують операцію XOR з кожним, крім використаного для вибору ключа, байтом, і ключем.

д. Повторюють етапи а-с для M2.

КБПЗ-2026

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

5 МЕТОДИКА ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ

На рисунку 5.1 зображено розроблене у бакалаврської дипломної роботі система Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018. З рисунку можна побачити що інтерфейс головного вікна розподілено на наступні функціональні розділи: Функціональних кнопок ПЗ; Навігаційного меню яке викликається натисканням правої клавіші маніпулятора миші; Верхнього меню.

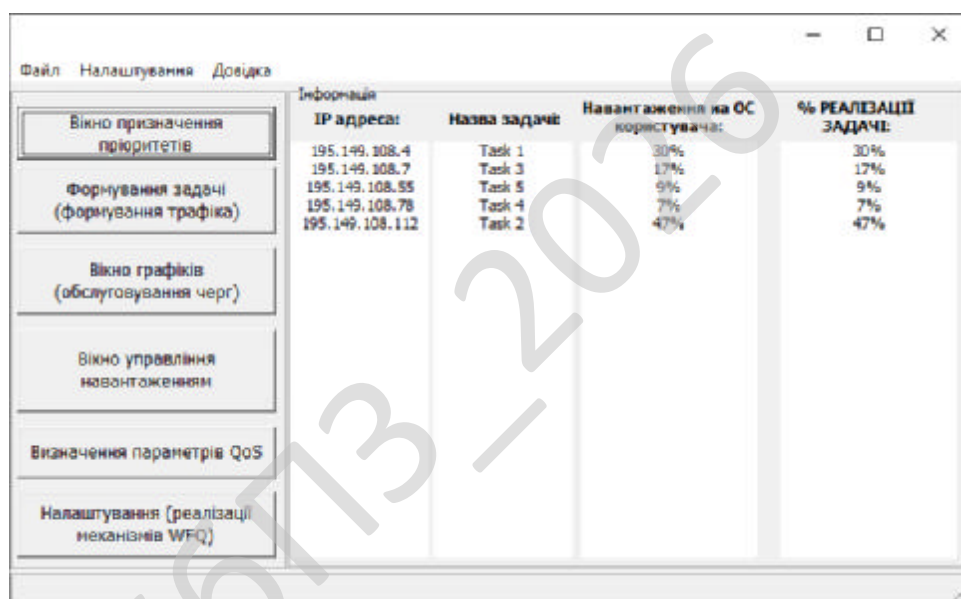


Рисунок 5.1 – Головне вікно ПЗ

Розроблена програма має дуже простий і зрозумілий інтерфейс з користувачем. Кожен, хто в достатньому обсязі володіє операційним середовищем Windows без особливих складностей освоїть і цю програму, оскільки її інтерфейс інтуїтивно зрозумілий. Якщо програма не видала ніяких помилок, і працює, то можна використовувати, інакше слід слідувати інструкціям, які пропонує програма.

На рисунку 5.2 зображено авторські дані розробленого програмного забезпечення.

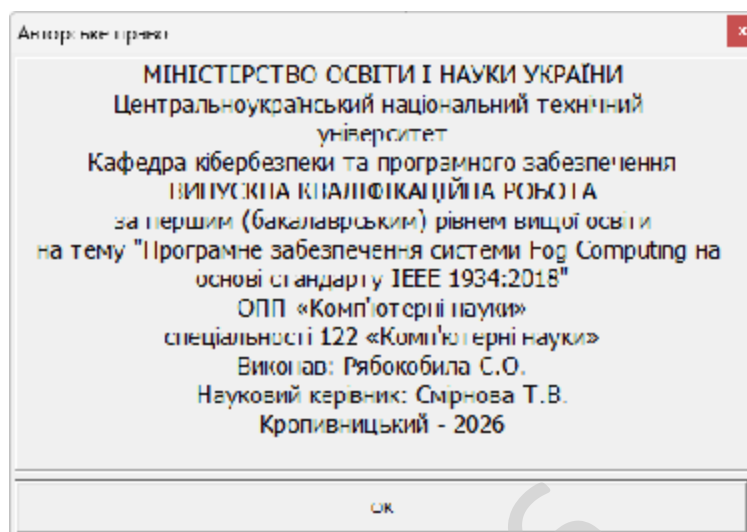


Рисунок 5.2 – Авторське право

Розглянемо процес впровадження програмного забезпечення, це процес налаштування програмного забезпечення під певні умови використання, а також навчання користувачів роботі з програмним продуктом. Впровадження програмного забезпечення це усі дії, що роблять розроблену програмну систему готовою до використання. Даний процес є частинною життєвого циклу програмного забезпечення.

Загалом процес розгортання складається з кількох взаємопов'язаних дій із можливими переходами між ними. Ця активність може відбуватися як з боку виробника так і з боку споживача. Оскільки кожна програмна система є унікальною, то усі процеси та процедури під час розгортання важко передбачити. Тому, "розгортання" можна трактувати як загальний процес відповідно до певних вимог та характеристик. Розгортання може здійснюватись програмістом і в процесі розробки програмного забезпечення.

До діяльностей пов'язаних із розгортанням програмного забезпечення відносять:

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- Випуск.
- Встановлення та активація.
- Деактивація.
- Адаптація.
- Оновлення.
- Вмонтування.
- Відстежування версій.
- Видалення.
- Вилучення з обігу.

При впровадженні програмного забезпечення потрібно урахувати наступні дії:

– Виділення критичних, з точки зору загального результату, процедур в діяльності організації. Коли набір таких процедур визначений, необхідно в першу чергу використовувати ІТ рішення для автоматизації операцій усередині саме цих процедур. Таким чином, розроблене ІТ рішення автоматично стає життєво важливим і затребуваним для організації, а також буде забезпечена публічність процесу впровадження.

– Розширення нормативної бази організації шляхом включення до неї регламентів, що описують порядок виконання процедур автоматизованих процесів. В іншому випадку є небезпека виникнення неузгодженості між автоматизованими процедурами та іншими процесами організації.

– Виконання робіт з загальної стандартизації існуючої діяльності організації, коли виділяються кращі практики виконання процедур і включаються в ІТ рішення за принципом найбільшої корисності для більшості учасників. Відсоток таких процедур щодо загального обсягу автоматизації може бути невеликий, але це надає процесу побудови рішення вагу в організації за рахунок збільшення його необхідності.

Під час роботи над програмою було проведено тестування програмного забезпечення, тобто технічне дослідження, призначене для виявлення інформації про якість продукту відносно контексту, в якому воно має використовуватись.

Тестування включає як процес пошуку помилок або інших дефектів, так і випробування програмних складових з метою їх оцінки.

Проводилась оцінка:

- відповідності поставленим вимогам;
- правильна відповідь для усіх можливих вхідних даних;
- виконання функцій за прийнятний час;
- практичність;
- сумісність з ОС та стороннім ПЗ.

Оскільки число можливих тестів для програмних компонент практично нескінченне, тому стратегія тестування полягала в тому, щоб провести всі можливі тести з урахуванням наявного часу та ресурсів.

Як результат ПЗ тестувалось стандартним виконанням програми з метою виявлення помилок або інших дефектів.

Обрано умови розповсюдження – Shareware. Під умовно-безплатним програмним забезпеченням можна розуміти спосіб або метод розповсюдження комерційного ПЗ на ринку (тобто на шляху до кінцевого користувача), при якому випробувачеві пропонується обмежена за можливостями (не повнофункціональна або демонстраційна версія), терміном дії (тріал версія) або версія з вбудованим набридливим нагадуванням про необхідність оплати використання програми.

В угоді про використання (ліцензії для кінцевого користувача, EULA) також може бути обумовлена заборона на комерційне або професійне (не тестове) її використання.

Основний принцип умовно-безплатного ПЗ – «спробуй, перш ніж купити» (try before you buy). ПЗ що поширюється як умовно-безплатний, надається користувачам безоплатно. Звичайно користувач платить тільки за час завантаження файлів через Інтернет або за носій (CD диск, флешку, ключ).

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Протягом певного терміну, що становить зазвичай тридцять днів, він може користуватися програмою, тестувати її, освоювати її можливості.

Якщо після закінчення цього терміну користувач вирішить продовжити використання ПЗ, він зобов'язаний купити його (zareestruvatisya), заплативши авторіві певну суму.

В іншому випадку користувач повинен припинити використання ПЗ та видалити його зі свого комп'ютера.

КБПЗ_2026

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

6 ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Програмне забезпечення, створене в результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти, призначено для системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

В межах України в недостатній мірі представлені вітчизняні розробки в цій області.

Рішення завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.
- Досліджена система Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018.

Розроблене програмне забезпечення має простий, дружній та зручний інтерфейс користувача, що забезпечує легкість у освоєнні роботи програмного продукту, зручність у використанні, і не потребує особливих спеціальних знань.

При створенні програмного забезпечення було використано об'єктно-орієнтований підхід, що відповідає сучасним тенденціям у галузі розробки комерційних програмних систем.

Програма реалізована на мові високого рівня Builder C++. Дана мова програмування дозволяє найбільш ефективно обробляти дані призначені для системи Fog Computing на основі стандарту IEEE 1934:2018. Це дозволило мінімізувати строк розробки програмного забезпечення, і, як слід, зменшити витрати на його розробку. Запропоноване програмне забезпечення ділиться на загальне програмне забезпечення, що поставляється із засобами обчислювальної

техніки й спеціальне програмне забезпечення, що спеціально розроблене для даної конкретної системи й включає програми, що реалізують її функції.

Програма призначена для виконання під управлінням багатозадачної операційної системи Windows 10/11.

Даються необхідні рекомендації з установки розробленого програмного забезпечення.

Для підвищення рівня безпеки запропоновано застосовувати алгоритм REDOC III.

В цілому створене програмне забезпечення підтверджує правильність використаних проектних рішень та повністю відповідає вимогам технічного завдання. Створене програмне забезпечення має потенційну можливість для подальшого вдосконалення і застосування у різних галузях.

КБПЗ-2026

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Peter Hoddie, Lizzie Prader «IoT Development for ESP32 and ESP8266 with JavaScript: A Practical Guide to XS and the Moddable SDK» ISBN-13 (pbk): 978-1-4842-5069-3 ISBN-13 (electronic): 978-1-4842-5070-9
2. STM32CubeMX for STM32 configuration and initialization C code generation. User manual. June 2022. 397 p.
3. І.В.Чихіра, А.Г. Микитишин Конспект лекцій з дисципліни «Програмування систем реального часу» / Укладачі : Чихіра І.В., Микитишин А.Г., – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя , 2016. – 76 с.
4. Jack Ganssle and Michael Barr. 2003. Embedded Systems Dictionary. CMP Books.
5. Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.
6. Greg Dunko, Joydeep Misra, Josh Robertson, Tom Snyder “A reference guide to the Internet of Things” / 2017 Bridgera LLC, RIoT.
7. Donald Norris “Programming with STM32. Getting started with the Nucleo Board and C/C++” 416 p. 2018.
8. Neil Kolban “Kolban’s book on ESP32”. Texas, USA. 951 p.
9. Вінтенко Б.Ю., Миронець І.В., Смірнов О.А. «Модель комп’ютерно-орієнтованої процедури системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *IV Міжнародна науково-практична Інтернет-конференція «Інновації та перспективні шляхи розвитку інформаційних технологій (ІПШРІТ-2025)»* м.Черкаси 25 листопада 2025 року – Черкаси: ЧДТУ.– 2025. – С.101-103.

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

10. Kuznetsov O., Frontoni E., Kuznetsova Y., Chevardin V., Smirnov O. «Architectural foundations for adaptive security in edge computing systems». *Cybersecurity Defensive Walls in Edge Computing*, 2025. pp. 21-61.
11. Вінтенко, Б.Ю., Миронець, І.В., Смірнов, О.А., Коваленко, О.В., Усік, П.С., Буравченко, К.О., Лисенко, І.А. «Логіко-структурна модель комп'ютерно-орієнтованої процедури системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. Том 2 № 30. С. 413-427, 2025.
12. Смірнова, Т.В. «Дослідження методів, моделей та сучасних ІТ-рішень для підтримки технологічних процесів у критичній інфраструктурі держави». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2025. Том 2 № 30. С.195-208, 2025.
13. Kuznetsov, O., Frontoni, E., Kuznetsova, K., Arnesano, M., Smirnov, O. «A secure biometric authentication architecture for blockchain-driven cyber-physical systems». *Security and Privacy of Cyber Physical Systems Emerging Trends Technologies and Applications*, 2025, pp. 193-224.
14. Kuznetsov, O., Atzeni, G., Arnesano, M., Randieri, C., Smirnov, O. «Secure IoT-based smart wheelchair system: From implementation to security enhancement strategy». *Security and Privacy of Cyber Physical Systems Emerging Trends Technologies and Applications*, 2025, pp. 225-257.
15. Kuznetsov, O., Smirnov, O., Kuznetsova, T., Shaikhanova, A., Svatowsky, I. «Privacy-utility trade-offs in IoT networks: A comparative analysis of differential privacy mechanisms for sensor data aggregation». *Security and Privacy of Cyber Physical Systems Emerging Trends Technologies and Applications*, 2025, pp. 589-622.
16. Вінтенко Б., Смірнов О., Миронець І., Смірнова Т., Смірнов С. «Імітаційна модель шляхів вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оператора енергоблоку АЕС». *Комбінаторні конфігурації та їхні застосування: Матеріали XXVII Міжнародного науково-практичного семінару, присвяченого 125-річчю Національного університету «Запорізька політехніка»*

(Запоріжжя-Кропивницький-Київ, 4-6 червня 2025 р.). Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. С.82-91.

17. Al-Azzeh, J., Ayyoub, B., Mesleh, A., Smirnova, T., Gnatyuk, S., Drieiev, O., Smirnov, O., Dorenskyi, O. «Cloud-Based Information System for Evaluating Caverns in the Process of Blasting Metal Surfaces of Details». *International Review on Modelling and Simulations* 18 (1), 2025. pp. 32-42.

18. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Миронець І.В., Смірнова Т.В., Коваленко О.В., Мацуї А.М. «Модель шляхів отримання вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. II. С.52-62.

19. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Миронець І.В., Смірнова Т.В. «Методи забезпечення відмовостійкості інтелектуальних систем підтримки оператора». *VIII міжнародна науково-практична конференція “Інформаційна безпека та комп'ютерні технології”*, м. Кропивницький. 24-25 квітня 2025 р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2025. – С. 44-46.

20. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Коваленко, А., Коноплицька-Слободенюк, О., Смірнова, Т., Константинова, Л. «Дослідження застосування систем підтримки оперативного персоналу об'єкту критичної інфраструктури при керуванні енергоблоком АЕС з реактором типу ВВЕР-1000». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2024. № 2(26), С. 6-26.

21. Смірнова Т.В., Коноплицька-Слободенюк О.К., Буравченко К.О., Смірнов С.А., Кравчук О.В., Козірова Н.Л., Смірнов О.А. «Дослідження технологій забезпечення кібербезпеки хмарних сервісів IaaS, PaaS та SaaS». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №4(24), С. 6-27.

22. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Кибербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №3(23), С. 111-131.

23. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.

24. Kuznetsov, O., Kuznetsova, Y., Smirnov, O., Kostenko, O., Zvieriev, V. «Evaluating Hashing Algorithms in the Age of ASIC Resistance». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 93-105.

25. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchey, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.

26. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208-223.

27. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів ІЕС60880 та ІЕС62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.

28. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи*, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.

29. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 3156, 2022, Pages 390-399.

30. Смірнова Т.В., Гнатюк С.О., Сидоренко В.М., Юдін О.Ю., Сидоренко С.Ю., «Модель визначення критичності галузевих інформаційно-телекомунікаційних систем». *Проблеми інформатизації та управління*, № 2(70). 2022. С. 28-37.

31. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., «Дослідження стійкості до диференціального криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 3(69). С. 93-98.

32. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Поліщук Л.І., Смірнов С.А. «Дослідження статистичної стійкості та швидкісних характеристик запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки»*, № 2 (307). С. 46-52. 2022.

33. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Константинова Л.В., Смірнов С.А., Якименко Н.М., «Дослідження стійкості до лінійного криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2022, № 1(67). С. 84-89.

34. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». *Communications in Computer and Information Science*, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.

35. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings*. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.

36. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and

cybersecurity of virtual cloud resources». *Journal of theoretical and applied information technology* Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.

37. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.

38. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.

39. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2616, 2020, Pages 125-136.

40. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2616, 2020, Pages 366-379.

41. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2608, 2020, Pages 633-645.

42. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». *International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019*; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.

43. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». *International Journal of Computing*; 2019,

44. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.

45. Smirnov, O., Odarchenko, R., Abakumova, A., Usik, P., Kundyz, M., «QoE optimization technique for media delivery in 5G networks». *2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*, Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019. P.597-601.

46. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». *CEUR Workshop Proceedings*, Vol 2588, P. 90-106, 2019.

47. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT-2019/* Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.

48. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», *2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS)*, Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.

49. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», *2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS)*, Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.

50. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., Prokopovych-Tkachenko, D., «Discrete Signals with Special

Correlation Properties», *CEUR Workshop Proceedings* Volume 2353, *CEUR Workshop Proceedings* 2019, Pages 618-629.

51. Smirnov A.A., Kuznetsov A.A., Danilenko D.A., Berezovsky A., «The statistical analysis of a network traffic for the intrusion detection and prevention systems», *Telecommunications and Radio Engineering*. – Volume 74, Issue 1. – Begel House Inc. – 2015. – P. 61-78.

52. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Кравченко С.С., Горбов В.О., «Хмарна система підтримки прийняття рішень технологічного процесу відновлення поверхонь конструкцій і деталей машин». *Сучасні інформаційні системи*. 2021. Т. 5, № 4. С. 79-95

К6ПЗ-2026

					ВКРБ-122.26.0029.00.00.ПЗ	Арк.
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73