

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
«Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах»

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-20м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка
_____ Ходацький Д.Л.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ
_____ Семенова О. О.
« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. РТ
_____ Осадчук В.С.
« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТКСТБ
_____ д.т.н., проф. Кичак В.М.
« ____ » _____ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань - 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
д.т.н., професор В.М. Кичак
“ ___ ” _____ 2021 року

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ходацькому Дмитру Леонідовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах

керівник роботи Семенова Олена Олександрівна, канд. техн. наук, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “24” 09 2021 року № 277

2. Строк подання студентом роботи 01 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: Кількість мотів: від 2 до 100 шт; Робочі частоти: 915 МГц та 2.4 ГГц; Швидкість передачі інформації: від 20 кбіт/с до 250 кбіт/с; Час автономної роботи: від 1 року без заміни джерела живлення; Дальність зв'язку: від 1м до 1500 м.

4. Зміст текстової частини: особливості безпроводових сенсорних мереж; способи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах; розвиток способів синхронізації в безпроводових сенсорних мережах; протоколи синхронізації; метод прецизійної синхронізації; економічна частина; Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Рисунок Б.1 – Затримка при передачі повідомлення синхронізації; Рисунок В.1 – Синхронізація типу «приймач- приймач»; Рисунок Г.1 – Модель синхронізації для ROS та SRS; Рисунок Д.1 – Обмін повідомленнями в ROS та SRS синхронізації; Рисунок Е.1 – Успішний сеанс зв'язку; Рисунок Ж.1 – Нефективний сеанс зв'язку.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Семенова О.О. доцент кафедри ТКСТБ		

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2021 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	10.09.2021р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	17.09.2021р.	
3.	Аналіз методів і засобів підсилення сигналів	01.10.2021р.	
4.	Розробка структури та принципової схеми ПВЧ	29.10.2021р.	
5.	Дослідження параметрів і характеристик ПВЧ	19.11.2021р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	30.11.2021р.	
7.	• Охорона праці та безпека життєдіяльності	06.12.2021р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	13.12.2021р.	
9.	Нормоконтроль МКР	14.12.2021р.	
10.	Попередній захист МКР, опонування МКР	17.12.2021р.	
11.	Захист МКР ЕК	20.12.2021р.	

Студент

(підпис)

Ходацький Д.Л.

Керівник роботи

(підпис)

Семенова О.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Ходацький Дмитро Леонідович. Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 117с.

На українській мові. Бібліогр.: 24 назв; Рис.: 20; Табл.: 18.

Магістерська робота присвячена розробленню та дослідженню методів синхронізації в безпроводових сенсорних мережах. У роботі було проаналізовано сучасні методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах. Обґрунтовано новітній метод синхронізації в безпроводових сенсорних мережах. Розраховано економічний ефект. Було розглянуто питання життєдіяльності та охорони праці. Отримані результати задовольняють вимогам технічного завдання.

Ключові слова: безпроводові сенсорні мережі, годинник, синхронізація, вузол, затримка, час.

ABSTRACT

UDC 621.396

Khodatsky Dmitry Leonidovich. Synchronization methods in wireless sensor networks. Master's thesis. - Vinnytsia: VNTU, 2021. - 117p.

In Ukrainian. Bibliogr .: 24 titles; Fig .: 20; Table: 18.

The master's thesis is devoted to the development and research of synchronization methods in wireless sensor networks. The paper analyzes modern methods of synchronization in wireless sensor networks. The latest method of synchronization in wireless sensor networks is substantiated. The economic effect is calculated. The issues of vital activity and labor protection were considered. The obtained results meet the requirements of the technical task.

Keywords: wireless sensor networks, clock, synchronization, node, delay, time.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ.....	10
1.1 Структура сенсорних мереж.....	10
1.2 Обладнання БСМ.....	12
1.3 Топологія сенсорних мереж.....	15
Висновки до розділу 1.....	19
2. СПОСОБИ СИНХРОНІЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ.....	20
2.1 Значення синхронізації для БСМ.....	20
2.2 Вимоги до синхронізації в БСМ.....	21
Висновки до розділу 2.....	25
3. РОЗВИТОК СПОСОБІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ.....	26
3.1 Вибір годинника на основі його параметрів.....	26
3.2 Фактори впливу на точність годинників та їх нейтралізація...	27
3.3 Складові затримки в доставці повідомлень.....	29
3.4 Методи синхронізації годинників.....	30
Висновки до розділу 3.....	40
4. ПРОТОКОЛИ СИНХРОНІЗАЦІЇ.....	41
4.1 Види забезпечення синхронізації.....	41
Висновки до розділу 4.....	47
5. МЕТОД ПРЕЦИЗІЙНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ.....	48
5.1 Постановка задачі.....	48
5.2 Ідея методу.....	50
5.3 Врахування температурного коефіцієнту.....	51
5.4 Калібрування повільних годинників відносно швидких.....	53
5.5 Алгоритм здійснення синхронізації годинників вузлів в БСМ.....	55

Висновки до розділу 5.....	58
6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	59
6.1 Оцінювання наукового ефекту.....	59
6.2 Розрахунок витрат на здійснення науково – дослідної роботи.....	62
6.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково- дослідної роботи.....	75
Висновки до розділу 6.....	77
7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	78
7.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	78
7.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	80
7.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи безпроводових сенсорних мереж в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	86
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
ДОДАТОК А (обов’язковий). Технічне завдання.....	98
ДОДАТОК Б (обов’язковий). Затримка при передачі повідомлення синхронізації.....	106
ДОДАТОК В (обов’язковий). Синхронізація типу «приймач- приймач».....	108
ДОДАТОК Г (обов’язковий). Модель синхронізації для ROS та SRS.....	110
ДОДАТОК Д (обов’язковий). Обмін повідомленнями в ROS та SRS синхронізації.....	112
ДОДАТОК Е (обов’язковий). Успішний сеанс зв’язку.....	114
ДОДАТОК Ж (обов’язковий). Неefективний сеанс зв’язку.....	116

ВСТУП

Актуальність теми. Даної роботи обумовлена розвитком бездротового зв'язку збільшення об'ємів інформації яка передається та обробляється інформаційними мережами при таких об'ємах потрібна стабільна та своєчасна синхронізація, адже від неї залежить вірність оброблення інформації, доставка її до належного місця призначення її захищеність та енерговитрати як на стороні передавача так і на стороні приймача тому для досягнення всіх цих вимог потрібна своєчасна та стабільна синхронізація.

Аналіз останніх досліджень. Показав що такі науковці як: В.Б. Дудкевич, Г.В. Микитин, А.І. Ребець, М.В. Мельник, Л.Г. Когельман та інші в таких працях як: «БЕЗПРОВІДНІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ZIGBEE, WI-FI ТА BLUETOOTH В КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ: КОНЦЕПЦІЯ “ОБ’ЄКТ – ЗАГРОЗА – ЗАХИСТ” НА ОСНОВІ МОДЕЛІ OSI», «ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ», «Інформаційна безпека в середовищі безпроводових сенсорних мереж», присвятили різним аспектам безпроводових сенсорних мереж багато уваги в тому числі і проблемі синхронізації в безпроводових сенсорних мережах.

Мета і завдання роботи. Метою даної кваліфікаційної роботи є покращення методів синхронізації в бездротових сенсорних мережах шляхом покращення показників синхронізації часу в мережі та зниження енерговитрат на її досягнення.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз наявних методів синхронізації безпроводових сенсорних мереж.
- синтез нових методів синхронізації безпроводових сенсорних мереж.

Об’єктом дослідження є безпроводові сенсорні мережі.

Предметом дослідження є методи синхронізації бездротових сенсорних мереж.

Методи дослідження базуються на аналізі методів синхронізації для синтезу нового методу синхронізації.

Новизна одержаних результатів:

- а) вперше виконано оцінку затримка в доставці повідомлень;
- б) вдосконалено метод прецизійної синхронізації;
- в) одержано подальший розвиток методів синхронізації в БСМ.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на І науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2021 році.

1. ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

1.1. Структура сенсорних мереж

Бездротова сенсорна мережа (БСМ, Wireless Sensor Network) – це розподілена мережа, яка має змогу самоорганізувати велику кількість датчиків та сенсорів в своєму складі. Датчики та сенсори в даній мережі носять назву «Мот» - від англ. «Mote» - пилінка, названі вони так через прагнення до зменшення габаритних розмірів датчиків. Всі виконавчі пристрої в даній мережі зв'язуються між собою за допомогою радіоканалу, що обумовлено умовами в яких вони повинні працювати. Завдяки наявності в складі мотів мікропроцесорів, прийомо-передавачів та акумуляторних батарей вони мають змогу обмінюватись між собою інформацією, обробляти її та передавати далі між собою до головного вузла так званого шлюзу. Всі ці фактори призводять до того, що моти виступають вузлами зв'язку в даній мережі і дозволяють збільшувати її обсяг. Зона покриття мережі на основі даних датчиків може бути як від декількох метрів до декількох кілометрів завдяки здозі мотів до ретрансляції повідомлені між собою.

Топологія мережі – важлива складова при побудові мережі оскільки вона надає інформацію про активні вузли в мережі та її склад. Так як БСМ працюють в умовах обмеженого енерго – ресурсу то методи збору інформації повинні бути максимально енергоощадними.

В залежності від умов роботи мережі, формування топології мережі може відбуватись в двох варіантах: топологія типу «зірка» (ієрархічна топологія), або ж топологія типу «точка – точка» (однорідна топологія). При побудові мережі за топологією «зірка» мережа складається з об'єктів двох типів: повнофункціональні вузли та моти (рис.1.1). Так повнофункціональні об'єкти виступають головними вузлами, які об'єднують моти в мережу і обробляють інформацію від них. В зв'язку з обробленням інформації від багатьох мотів та роллю головного вузла, йому

потрібне стаціонарне живлення в той час як моти живляться від вбудованого акумулятору. [1]

Такий спосіб побудови мережі може бути використаний для вирішення обмеженого ряду задач, наприклад в промисловості.

Другий варіант побудови мережі – однорідна топологія, яка не вимагає розбиття мережі на сегменти і всі об'єкти можуть спілкуватись між собою в зоні досяжності, при цьому вся мережа може як розбиватись на кластери так і ні (рис.1.2). Даний підхід до побудови мережі дозволяє організувати більш складні конфігурації мережі, адаптувати такі мережі для вирішення більш складніших задач. Така гнучкість досягається завдяки тому, що при такому підході окремі об'єкти можуть самостійно організовувати мережу і адекватно реагувати на зміни в топології мережі. Крім цього саме при такій топології мережі можливе спілкування між об'єктами які не являються сусідами.

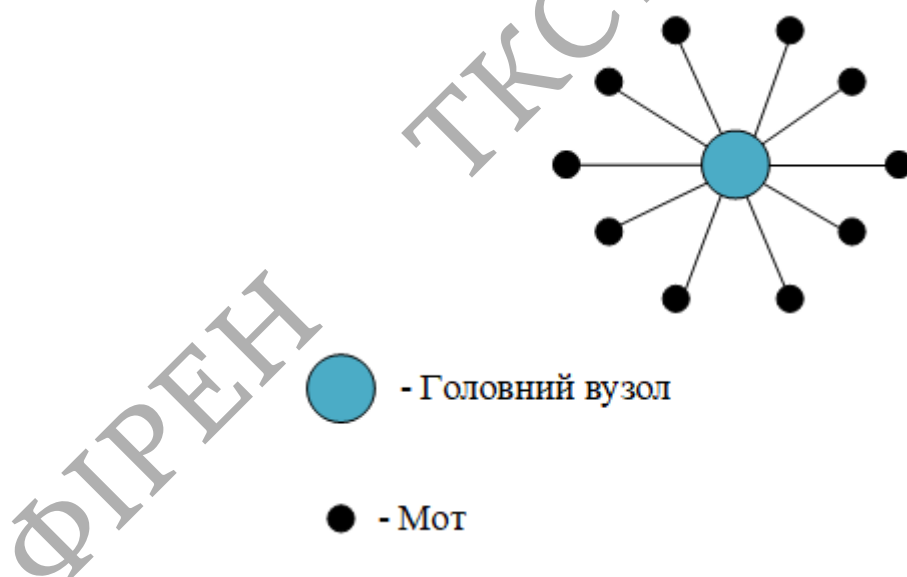


Рисунок 1.1. – Архітектура БСМ типу «звірка»

Кожен вузол вибирає для себе унікальний ідентифікатор підмережі. Цей ідентифікатор забезпечує зв'язок між пристроями в мережі за допомогою коротких адресів та дозволяє передавати дані між пристроями через незалежні підмережі.

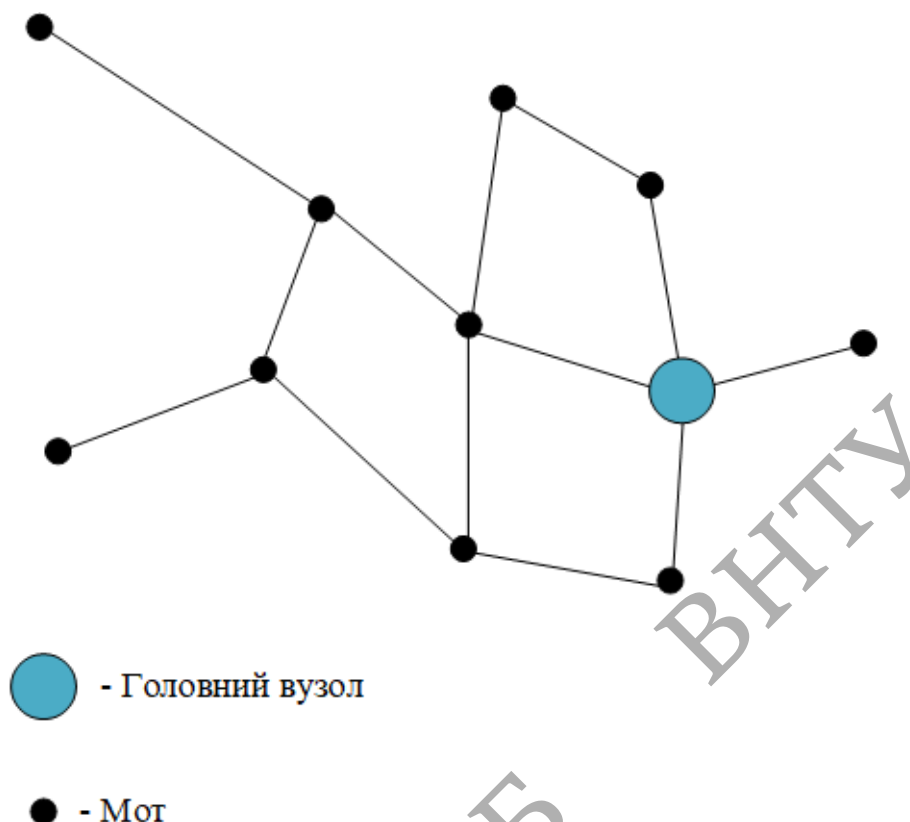


Рисунок 1.2. – Архітектура БСМ типу «однорідна»

Всі мережі які побудовані за топологією «зірка» працюють незалежно від інших мереж. Це досягається шляхом вибору координатором ідентифікатору, який в даний момент не використовується будь якою іншою мережею в зоні дії мережі. [2]

1.2 Обладнання БСМ

Основним елементом БСМ є «сенсори» так звані «моти» - це пристрої які поєднали в собі відразу три функції: вимірювальну, обчислювальну та комунікаційну.

Головною відмінністю БСМ від інших мереж являється перетворювач – датчик чи сенсор. На сьогоднішній час існує безліч технічних рішень для перетворення фізичних величин, які в подальшому будуть перетворенні в сигнал для оброблення та передачі. Завдяки цьому в БСМ існують датчики

найрізноманітнішого напрямку: Температурний, прискорення, радіаційний, тиску сейсмічний і тд і тп.. Обширний вибір вимірюваних величин надає великий вибір датчиків на основі яких буде побудована система однак в той самий час вимагає вирішення конструктивних проблем при побудові нового датчика, вирішення проблеми з обміном даними між мотами та перетворення сигналів навколишнього середовища в цифрові дані.

Сучасні моти мають достатньо низький рівень споживання енергії на 1 млн. обчислювальних операцій. В зв'язку з цим постає актуальним питання про попереднє оброблення даних перед їхньою передачею. Якщо врахувати, що мережа складається з великої кількості мотів, то практично маємо велику розподілену обчислювальну мережу, ресурси якої можна направити на попередню обробку даних для підвищення ефективності роботи всієї системи.

Моти здійснюють комунікаційні функції за принципами Ad-hoc мереж-децентралізованих безпроводових мереж, які не мають постійної структури.

Кожен вузол мережі намагається переслати дані які призначені іншим вузлам. При цьому визначення того, якому вузлові пересилати дані, відбувається динамічно на відомостях про побудову мережі. Це я являється головною відмінністю від проводових і безпроводових мереж які керуються в цих мережах за керування передачею даних відповідають маршрутизатори чи точки доступу.

Сенсорний датчик – це мініатюрний пристрій, який володіє визначеними характеристиками. Він має змогу сканувати навколишнє середовище та збирати інформацію в вигляді інформаційних сигналів. Наявність в сенсорі радіопередавача, дозволяє передавати інформаційні сигнали на базову станцію через бездротові засоби зв'язку. Але такий передавач має обмежену дальність зв'язку (наприклад до 10 м). Це означає що сигнали, які відправляються сенсорним датчиком не будуть отримані на відстані більше ніж 10 метрів. Цей недолік можна компенсувати за рахунок використання більшої кількості таких сенсорів, за для того щоб сигнали могли добратись до базової станції, за допомогою ретрансляції.

Сенсорний вузол в БСМ складається з чотирьох основних компонентів: джерело живлення, датчик, блок оброблення, система зв'язку (рис. 1.3).

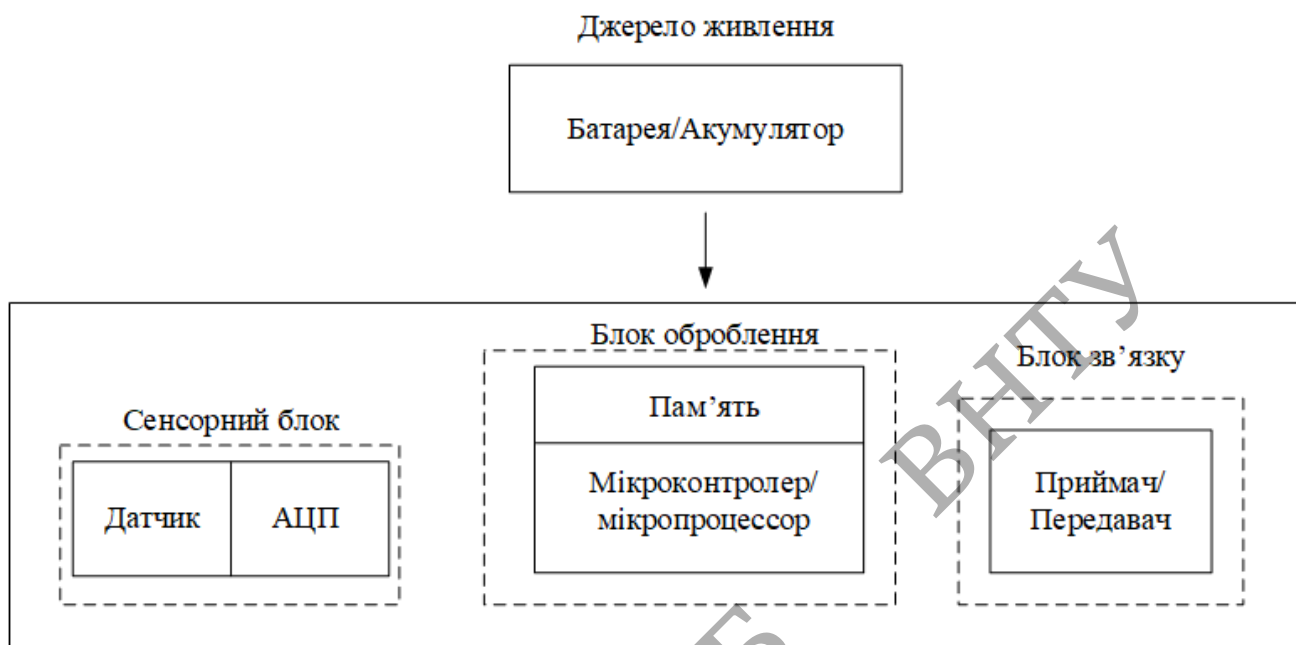


Рисунок 1.3. – Функціональна схема датчика БСМ

Датчик збирає та обробляє аналогові данні із зовнішнього середовища, АЦП перетворює ці дані в цифрові. Основний процесор виконує інтелектуальне оброблення даних та маніпулювання ними. Система зв'язку складається з підсистеми радіозв'язку, зазвичай радіостанції ближньої дії для передачі та прийому даних. Оскільки всі компоненти являються пристроями з низьким енергоспоживанням, для живлення всієї системи може використовуватись не велика батарея чи акумулятор.

Незважаючи на назву, сенсорний вузол складається не тільки з сенсорів та датчиків але і із інших важливих компонентів таких як: пристрій оброблення, зв'язку та зберігання даних. Завдяки цим функціям, компонентам та покращеннями вузол датчика відповідає за збір даних зовнішнього середовища, аналіз мережі, кореляцію даних та об'єднання даних для передачі на інші вузли.

Окремо потрібно виділити технологію MEMS. Мікро – електромеханічні пристрої які представляють з себе інтеграцію механічних, електронних, сенсорних

та виконавчих пристроїв на спільній кремнієвій основі, яка виконана шляхом мікро – збірки. В зв'язку з тим, що вузол БСМ повинен споживати малий об'єм енергії за для його живлення можна використовувати альтернативні джерела енергії такі як сонячні панелі, перетворювачі вібрацій в енергію. Одна дані джерела досі не достатньо ефективні, а в деяких варіантах доволі дорогі, також їх використання потребує особливих умов навколишнього середовища. Тому досі наявність вбудованих акумуляторів та батарей є обов'язковою, а наявність альтернативних джерел живлення опціональним та призначеним для підзарядки вбудованих джерел живлення.

1.3 Топологія сенсорних мереж

Під топологією бездротової мережі зазвичай розуміється фізичне розташування елементів мережі один відносно іншого та способи їхнього фізичного з'єднання.

Побудова мережі БСМ відбуваються на основі двох типів фізичних пристроїв (рис. 1.4): повнофункціональні пристрої (Full Function Device, FFD) та пристрої з обмеженим функціоналом (Reduced Function Device, RFD). Повнофункціональні пристрої можуть функціонувати в трьох режимах: координатор, маршрутизатор та кінцевий вузол, а пристрої з обмеженим функціоналом тільки в режимі кінцевого вузла.



Рисунок 1.4. – Типи фізичних пристроїв та режими їх роботи

Завдяки поділу пристроїв завдяки їхнім функціональним можливостям існує декілька варіантів побудови топології БСМ, які можуть бути:

- Централізовані (ієрархічні) (рис. 1.5 а);
- Децентралізовані (рис. 1.5. б);
- Гібридні (рис. 1.5 в).

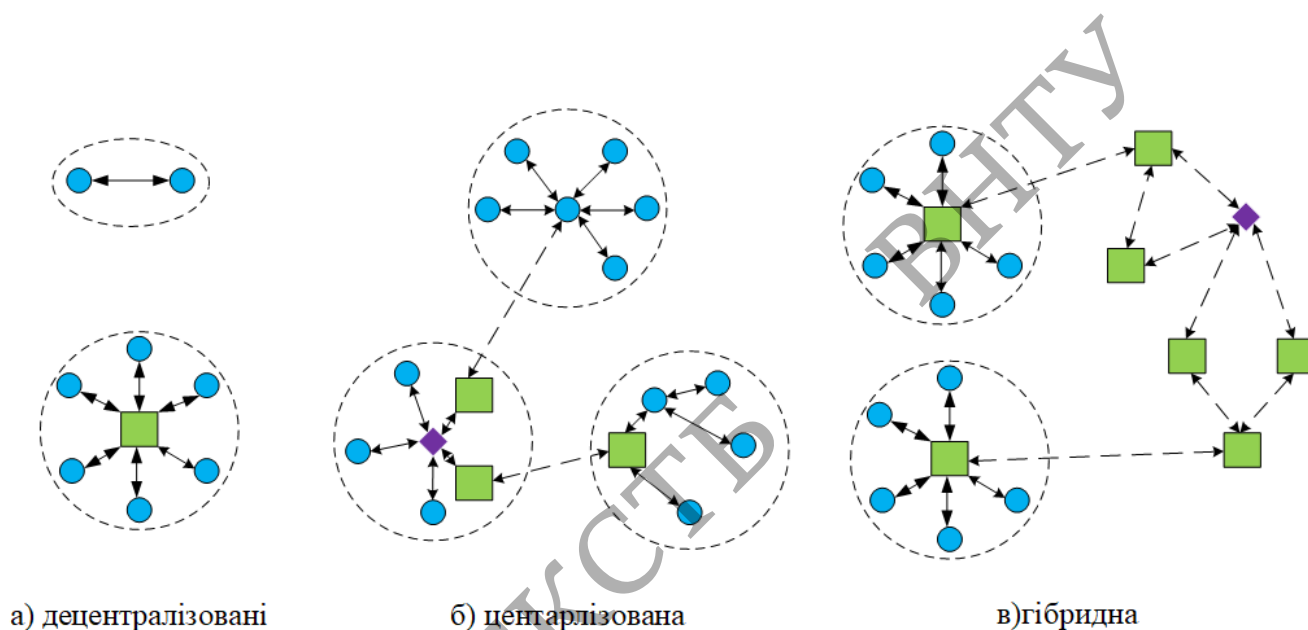


Рисунок 1.5 – Топологія БСМ: а) централізовані; б); децентралізовані в) Гібридні

При побудові мережі за централізованою схемою в ній наявний маршрутизатор, який виконує функції концентратора, що приймає рішення щодо маршрутизації отриманих даних між вузлами мережі. До мереж які побудовані за такою схемою відносяться такі топології як: «зірка»; «деревоподібна».

Децентралізована схема побудови мережі на відміну від централізованої складається з рівноправних мережних вузлів, в такій схемі кожен пристрій сам обирає до якого вузла йому приєднатись для передачі інформації за допомогою ретрансляції. При такій структурі один чи декілька мотів мають доступ до центрального шлюзу для обміну повідомленнями з іншими системами. До такої мережі відноситься топологія: «точка-точка».

Ієрархічна структура відноситься до централізованої структури вона передбачає розбиття мережі на кластери і містить декілька рівнів ієрархії на верхньому рівні якої знаходиться концентраторний вузол. При такій схемі мережа будується за топологією «зірка» в центрі якої знаходиться координатор, який відповідає за зберігання інформації, на рівні нижче знаходяться концентратори, які відповідають за тимчасове збереження та накопичення інформації від датчиків та сенсорів мережі. Також в ньому зберігається інформація про фізичну побудову мережі та наявність всіх пристроїв та даних про них. Зібрану інформації від концентраторів координатор передає через зовнішній шлюз до центру оброблення даних (рис. 1.6).

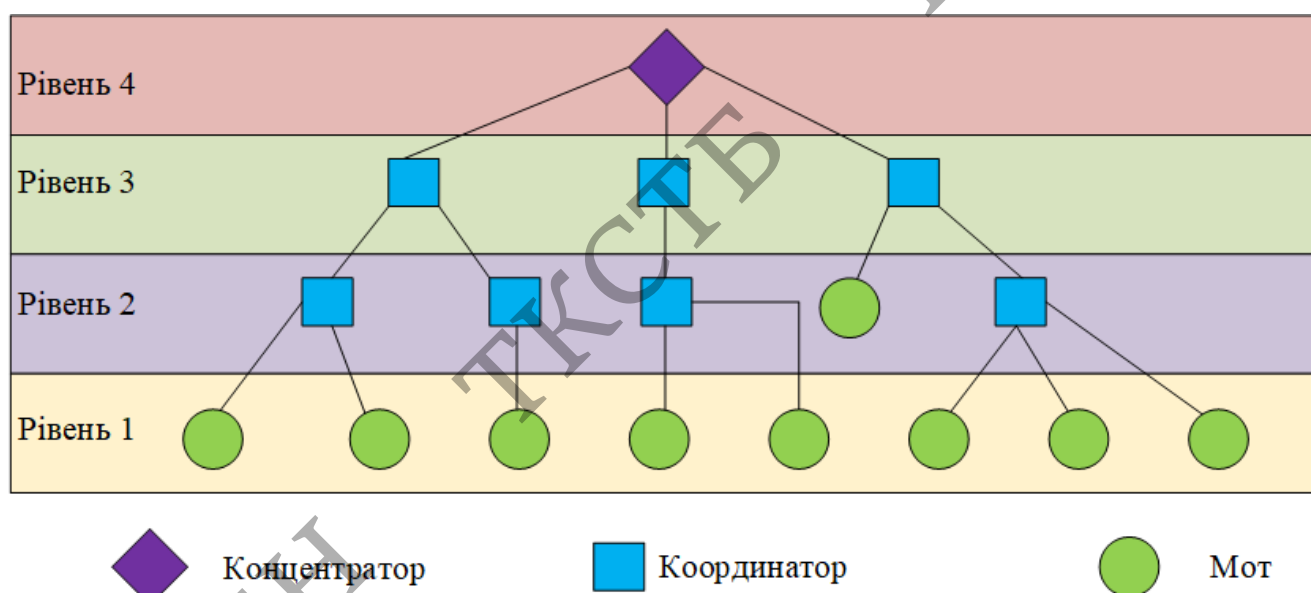


Рисунок 1.6 – Структура ієрархічної сенсорної мережі

Дана структура характеризується централізованим оброблення даних на відокремлених обчислювальних потужностях, що дозволяє підвищити надійність системи як при передачі даних так і при виході з ладу одного з вузлів також дозволяє легко нарощувати об'єми мережі.

Однак через таку схему побудови мережі збільшується інтенсивність трафіку до вищих рівнів особливо при великій мережі, що може призвести до погіршення якості даних, перевантажені та до відмови системи в цілому. За для уникнення такої

ймовірності на рівнях які об'єднують декілька потоків даних потрібно встановлювати обмежувачі трафіку для вхідних повідомлень від датчиків та зменшення активності каналу самих датчиків.

Тоді як потрібно об'єднати переваги обох вище перерахованих систем чудово підходить гібридна система. Дана система має значні переваги по масштабованості мережі, що в свою чергу дозволяє збільшити зону покриття мережі, нижчу вартість побудови мережі в порівнянні з двома іншими способами, більшу надійність на відмову мережі та більші функціональні можливості.

Серед основних топологій які використовуються при гібридній схемі побудови найчастіше використовуються такі: «кластерне дерево» та «багатокоміркова мережа». «Кластерне дерево» являє собою об'єднання між собою мережі типу «зірка», на вищому рівні яких знаходиться концентратор. Мережі такого типу мають низьку стійкість до відмов в зв'язку з одним маршрутом зв'язку між мережами типу «зірка». Об'єднання мережі типу «зірка» та «точка-точка» створило топологію типу «багатокоміркова мережа», що завдяки типу своєї побудови дозволяє об'єднувати різноманітні мережі під своє керівництво будь-то «точка-точка» чи «зірка» при цьому розширюється варіативність вибору доставки повідомлень між вузлами до головних концентраторів та між самими датчиками та мережами. Завдяки такій побудові мережі збільшується стійкість до відмов мережі, адже якщо вийшла з ладу одна гілка зв'язку координатор на основі даних про побудову мережі автоматично знайде інший маршрут в обхід пошкодженої гілки .

Таким чином при виборі структури побудови БСМ в першу чергу потрібно опиратись на розмір мережі яку буде покривати БСМ, дальність зв'язку між датчиками, кількість пристроїв в мережі, якість зв'язку яка необхідна для даної мережі. Так для розгорнення мережі в невеликій кімнаті вистачить топології типу «точка-точка», для мережі на основі розумного будинку потрібно буде розгорнути мережу на основі топології «зірка», а для мережі що буде моніторити умови на великому підприємстві підійде топологія «багатокоміркова мережа» [2].

Висновки до розділу 1

В цьому розділі було розглянуто топологію сенсорних мереж, їхні особливості та відмінності від класичних мереж. Функціональні пристрої мереж їх принцип роботи та функціонал які вони виконують. Особливості їхнього функціонування.

ФІРЕН
ТКСТБ
ВНТУ

2. СПОСОБИ СИНХРОНІЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

2.1 Значення синхронізації для БСМ

В телекомунікаційних системах підтримання логічних годинників одна з найважливіших проблем, адже порушення синхронізації може привести до порушення працездатності усєї системи. До питання синхронізації в БСМ висуваються окремі вимоги, жорсткіші. Так як дана мережа побудована на пристроях які працюють від скінченного джерела живлення, то потрібно опиратись на умови які висуваються до пристроїв даної мережі, а саме:

- Компактність – що унеможлиблює використовувати громіздкі елементи компонентної бази в тому і джерела живлення, що призводить до компромісу між розмірами та параметрами того чи іншого елемента;
- Енергонезалежність – через умови роботи датчиків в більшості варіантів вони оснащуються незмінними джерелами живлення, від енергії яких вони повинні пропрацювати декілька років;
- Стабільний зв'язок – через умови праці на які націлені датчики БСМ в них повинен бути організований стабільний та чіткий відносно часу зв'язок.

Виходячи з перерахованих вище вимог до БСМ потрібно щоб наші датчики володіли щільними розмірами, наднизькими енергоспоживанням та стабільним сигналом. За для досягнення останньої вимоги нам потрібно досягти одночасного ввімкнення передавача та приймача та їхньої готовності до прийому та передачі даних. За для досягнення цього нам потрібно використати синхронізації. В момент часу коли потрібно передати дані датчик вмикається організовує канал зв'язку та передає дані та службову інформацію як то дані про свої параметри в вигляді рівню заряду акумулятора, системного часу та інформацію про помилки. Після передачі даних датчик переходить в режим наднизького енергоспоживання в режим «сну».

Синхронізація в даній системі надає гарантовані часові відліки для обміну повідомленнями та дозволяє значно підвищити енергоефективність вузлів під час обміну повідомленнями [3].

Синхронізація в бездротових сенсорних мережах виражається наявністю деякого опорного часового відліку, який необхідний для функціонування всієї мережі. Синхронізація використовується в будь якій мережі незалежно від її типу та топології.

Синхронізація важлива для завдань які виконують вузли в БСМ, а саме:

- Вірне опрацювання отриманих даних, що можливе тільки при однаковій часовій шкалі;
- Керування прийомом - передачею для унеможливлення колізії пакетів;
- Керування живленням – планування активності датчика за для оптимального використання енергетичного ресурсу, вчасний вихід з режиму сну та назад;
- Загальні фіксації часу для захисту інформації від повторного використання чи її підміни, присвоєння часових міток даним отриманим з сенсорів.

Отже синхронізація в часі – метод забезпечення знання часу у розподіленій системі. Синхронізація є критичною для стабільного функціонування системи та її складових компонентів.

2.2 Вимоги до синхронізації в БСМ

Методів синхронізації які існують в БСМ недостатньо по низці факторів. БСМ повинні володіти високими показниками енергоефективності так як вузли будуть некеровані та матимуть скінченне джерело живлення. Існуючі методи синхронізації не враховують дане обмеження. Так протокол NTP, неефективний в прослуховуванні ефіру так як пристрої прослуховують його постійно навіть коли там не передається інформація, що для БСМ являється марною тратою енергії.

Розберемо особливо важливі вимоги до синхронізації в БСМ:

- Точність, а саме максимальне значення помилки;
- Масштабованість – набір вузлів які вже синхронізовані і охоплюють регіон;
- Тривалість роботи вузла – від миттєвої до визначеного періоду часу;
- Енергоефективність – співвідношення часу затраченого на виконання однієї операції до енергії яку він витратив на виконання цієї операції.

Більшість сучасних рішень, компромісні – вони не вирішують всіх поставлених перед ними цілей. Одні рішення вирішують всі цілі відносно стабільності та способу але не задовольняють відносно своїх габаритних розмірів та енергоефективності інші ж навпаки.

Можливо використовувати загальне джерело синхронізації в вигляді опорного радіосигналу, однак дане рішення підходить для стаціонарних вузлів які працюють в ідеальних умовах. Адаже для вузлів які працюють в суворих умовах та ще й і рухомі, це приведе до похибок під час отримання повідомлення. В зв'язку з затримкою на розповсюдження сигналу та можливістю отримати дублікат цього сигналу.

За для уникнення змоги отримати дублікат повідомлення можна виключати повідомлення дублікати з мережі. Однак за для такого рішення кожне повідомлення повинне мати часову мітку з точністю того ж порядку що й частота повідомлення. Так як мережа може бути велика і поки повідомлення дійде до кінцевого датчика. То час життя цього повідомлення може закінчитись і датчик не прийме його до уваги. За для уникнення такої можливості потрібно щоб час життя повідомлення був достатній для охоплення всієї мережі.

Окрім типових помилок синхронізації для бездротових систем для них також властиві помилки і дротових систем. Похибка годинника, пришвидшення чи уповільнення, зміщення. В більшості варіантів на ці помилки впливають зовнішні

фактори, а саме: тиск, температура, вологість чи звичайний вихід з ладу одного компонента під дією зовнішнього фактору чи декількох із них.

Так точність годинника реального часу може відрізнитись при різних температурах, значеннях тиску та особливо матеріалі з якого виконаний резонуючий кристал. Особливо це буде помітно в датчиках БСМ адже вони проектуються для роботи в різноманітних умовах: вулиці, снігу, води, пустелі. Більшість ГРЧ розраховані на температурні коливання які підходять під більшість показників які зустрічаються в повсякденному житті. Таким чином навіть у нормальних умовах для роботи кварцових резонаторів похибка буде накопичуватись в незалежності від виконання цього резонатора. Тип виконання тільки зменшить цю похибку та збільшить загальну вартість кінцевого пристрою [4].

Вузли БСМ зазвичай функціонують від скінченних джерел живлення які не мають можливості їх заміни. В деяких випадках мають можливість підзарядки але враховуючи специфіку використання такого вузла така змога не надає багато додаткової енергії. Тому методи синхронізації під час виконання синхронізації повинні використовувати як змога менше енергії. За для досягнення такого показника можна синхронізувати вузли між собою під час сеансу передачі повідомлень, а для збільшення ефективності прагнути до зменшення загальної кількості повідомлень, які необхідні для синхронізації вузлів.

Як відомо безпроводове середовище, капризне та схильне до змін під впливом природніх та людських факторів будь – то: дощ, туман, пора доби тощо. Дані зміни погодних умов призводять до погіршення якості каналу зв'язку, до збільшення помилок при передачі повідомлень. Окрім природніх факторів на якість каналу зв'язку також впливають і людські фактори як: перенесення з собою прийомо – передавачів різного назначення деякі з яких працюють в тому ж частотному діапазоні що і датчики БМС. Мобільні базові станції оперативних транспортних засобів, індустриальний шум.

Підсумовуючи все вище описане можна зробити висновок, що методи та способи синхронізації при їхньому розробленні та реалізації повинні враховувати низку факторів. Починаючи від параметрів які буде вимірювати вузол БСМ та закінчуючи умовами в яких йому доведеться працювати. Адже від цих параметрів залежить вірність вибору методу синхронізації, а вже від нього і працездатність та енергоефективність всієї мережі [5].

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

Висновки до розділу 2

В другому розділі було розглянуто актуальність питання синхронізації часу в БСМ. Які фактори впливають на вибір розмірів датчиків які впливають на методи та способи синхронізації в БСМ. Основні варіанти синхронізації та їх переваги та недоліки для використання, типи перешкод та помилок які можуть впливати на синхронізацію в БСМ. Також було розглянуто фактори на які найбільше потрібно звернути увагу при виборі синхронізації в БСМ.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

3. РОЗВИТОК СПОСОБІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

3.1 Вибір годинника на основі його параметрів

В подальшому нам знадобляться визначення. Приведемо їх на прикладі двох годинників C_a та C_b .

$C(t)$ – час годинника, де $C(t) = t$ час ідеального годинника;

$C'_a(t)$ – частота годинника в момент часу t ;

$C_a(t) - t$ – зміщення годинника;

$(C'_a(t) - C'_b(t))$ – перекіс годинників;

$(C''_a(t) - C''_b(t))$ – дрейф годинника C_a відносно годинника C_b в момент часу t .

В ідеальному випадку годинник повинен бути налаштований таким чином, щоб $C(t) = t$, де t – це ідеальний, опорний час. Однак в зв'язку з не ідеальністю тактового генератора функція годинника моделюється як (3.1.1), де параметри ω та φ – це зміщення тактового сигналу та перекоосу годинника відповідно, ϵ – випадковий шум.

$$C_i(t) = \varphi + \omega t + \epsilon, \quad (3.1.1)$$

Враховуючи вплив випадкового шуму, відношення годинників між двома вузлами, може бути представлено у вигляді (3.1.2):

$$C_1(t) = \varphi_{12} + \omega_{12} C_2(t), \quad (3.1.2)$$

Де φ_{12} – відносне зміщення годинника, ω_{12} – перекіс між вузлами. Відповідно коли два такти ідеально синхронізовані то, $\varphi_{12} = 0$, а $\omega_{12} = 1$. Допустимо якщо мережа складається з L – вузлів, тоді глобальна синхронізація в мережі досягається, коли $C_i(t) = C_j(t)$.

Синхронізація безумовно являється складною задачею, по ряду причин. До основних причин можна віднести те, що кожен генератор володіє своїми унікальними параметрами. Так відомо, що годинники мають частоту до 40 ppm (частин на мільйон), що еквівалентно втраті 40 мс в секунду. Тобто годинника які володіють однаковими параметрами можуть мати параметри перекосу від -20 до 20 ppm.

В цілому зміщення годинників ω залежна від часу величина. Існує два варіанти даної величини: короткострокова та довгострокова нестабільність. Короткострокова нестабільність зумовлена факторами навколишнього середовища, зміною температури, напругою живлення. Довгострокова нестабільність є наслідком інших параметрів таких як: старіння генератора, температура, тиск, напруга.

Підсумовуючи вище описане відносно зміщення годинників, це постійна стала яка змінюється з часом. За для уникнення розсинхронізації, система повинна робити періодичну ресинхронізацію для повторного налаштування системи [3].

3.2 Фактори впливу на точність годинників та їх нейтралізація

В зв'язку з технічним процесом під час виготовлення радіоелектронних компонентів не можливо досягнути абсолютної точності по їхнім параметрам. Навіть найточніший в світі радіо – електронний компонент має похибку. При похибці в кварцовому генераторі яка дорівнює 0,001 %, показники годинника на матимуть помилку в одну секунду в день. Тому частоту годинника вимірюють в доволі точних одиницях, PPM – частин на мільйон.

Ідеальний годинник, в будь – який період часу буде мати таку частоту, $\frac{dc}{dt} = 1$, але різні зовнішні фактори такі як вологість, температура, напруга живлення та вік кварцу впливають на параметри генератора. Всі ці фактори впливають на швидкість відхилення параметрів обох годинників. Максимальна швидкість

відхилення параметрів виражається, як ρ , яке для кварцових годинників становить від 1 мд до 100 мд. Цей параметр вказується виробником генератору та дає гарантію що:

$$1 - \rho \leq \frac{dc}{dt} \leq 1 + \rho, \quad (3.2.1)$$

В виразі 3.2.1 показує, як швидкість відхилення впливає на показники ГРЧ, яке призводить трьох варіацій годинників: повільних, швидких та точних (рис. 3.1). Ці швидкості відповідальні за похибку показників годинників навіть після їхньої синхронізації, що приводить до потреби постійної синхронізації. За для уникнення збільшення похибки між годинниками вводиться правило, що годинникам заборонено відхилятися один від одного зі швидкістю яка буде перевищувати $2\rho_{\max}$. Для обмеження зміщення до δ секунд, інтервал ресинхронізації τ_{sync} повинен відповідати вимогам:

$$\tau_{sync} \leq \frac{\delta}{2\rho_{max}}, \quad (3.2.2)$$

$C(t)$ повинен бути суцільною функцією часу. Тому коригування годинників повинне виконуватись поступово, адже наслідки різкої зміни часу вперед чи назад можуть призвести до серйозних проблем в роботі системи.

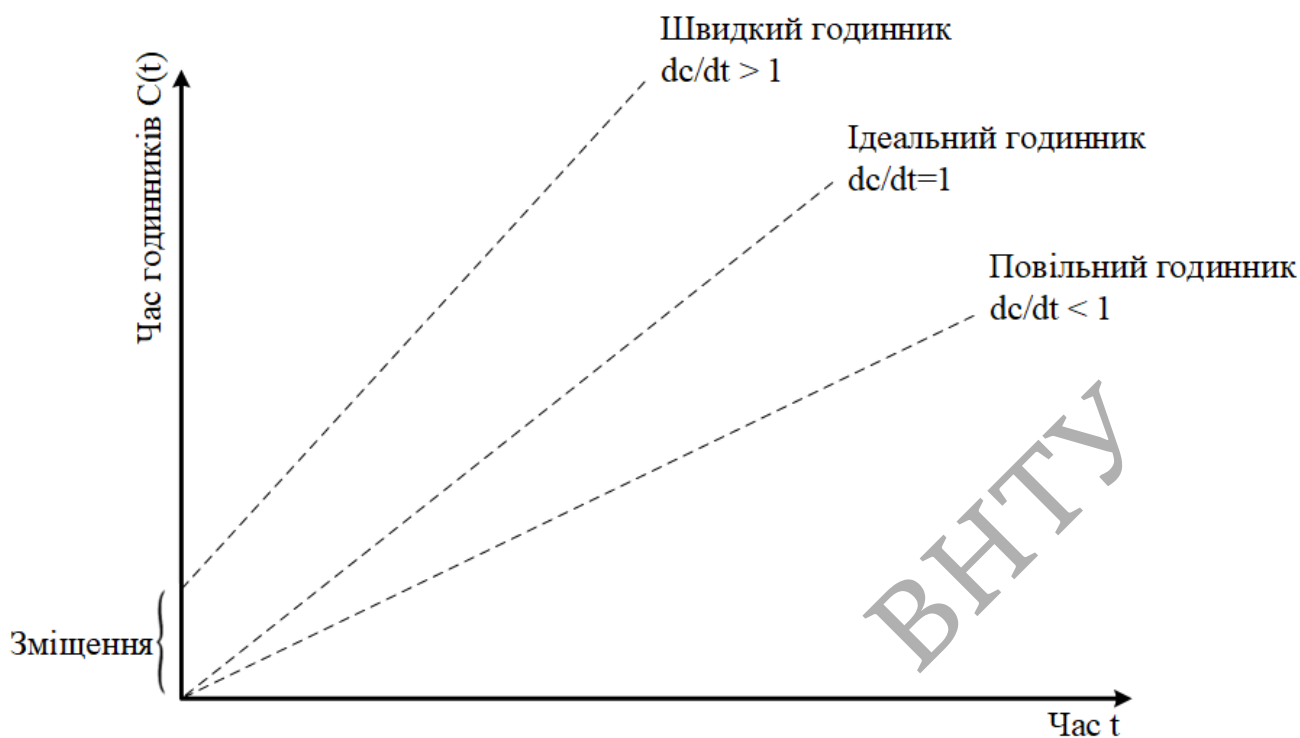


Рисунок 3.1 – Типи годинників

3.3 Складові затримки в доставці повідомлень

Основною задачею синхронізації є досягнення загальної часової шкали на всіх вузлах мережі. Не відповідність часу відбувається в основному з таких причин як: різний час встановлення вузлів в мережі, тимчасових різниць в їхніх генераторів та різноманітні природні фактори.

В ідеальному випадку для синхронізації двох вузлів потрібно щоб один вузол відправив свій час на інший вузол, якщо ж під час доставки немає ніяких затримок то вузли обраховують різницю між їхніми годинниками та встановлюють новий час. Однак в реальних мережах різноманітні фактори впливають на доставку повідомлень, що викликає труднощі для синхронізації. В цілому процес синхронізації зводиться до усунення недетермінованих затримок під час передачі повідомлень. [5]

Компоненти затримки в доставці повідомлень можна розділити на такі типи:

1. Час відправлення повідомлення: це час який потрібен системі на побудову повідомлення та інші затримки які відбуваються в системі під час її роботи.

2. Час доступу: це час який потрібен для досягнення повідомлення в канал зв'язку після того як воно було сформоване. Цей параметр не є детермінованим та може становити від мілісекунд то секунд в залежності від завантаженості мережі.

3. Час передачі: час передачі повідомлення в фізичному середовищі. Дана затримка може бути оцінена за допомогою довжини повідомлення та пропускної здатності мережі. Час затримки даного типу ставить десятки мілісекунд.

4. Час поширення повідомлення: час необхідний для передачі повідомлення від відправника до отримувача. Дана затримка є детермінованою та складає менше одної мікросекунди.

5. Час прийому: час який необхідний для прийому повідомлення.

6. Час опрацювання повідомлення: час який потрібен для опрацювання отриманого повідомлення.

Окрім вище перерахованих факторів затримки, також існують інші фактори затримки, такі як операційна система, коди виправлення помилок та схем модуляції. [7]

3.4 Методи синхронізації годинників

В бездротових сенсорних мережах синхронізація основана на пакетній передачі даних, та в цілому може бути поділена на два типи: синхронізація передавач – приймач та приймач – приймач синхронізація. Синхронізація типу передавач – приймач побудована на традиційній моделі двох - стороннього обміну повідомленнями. Тоді як, при синхронізації приймач – приймач спочатку відправляється пакет «маяк» від центрального вузла, під час отримання якого вузли обраховують час відносного зсуву годинника.

Також існує синхронізація тільки з приймачем (ROS). Його метою є зменшення кількості необхідних повідомлень для синхронізації та оптимізація енерговитрат при збереженні високого рівня точності синхронізації. Цей тип синхронізації використовується для забезпечення синхронізації при меншій кількості повідомлень.

3.4.1 Метод дистанційного зчитування годинників

Синхронізація годинників між будь – якими двома вузлами в основному побудована на основі обміну повідомленнями, який дозволяє оцінювати час в вузлі на основі часу іншого годинника.

Метод визначив спосіб читання часу віддалених годинників, який дозволяє обробляти необмежені затримки повідомлень між виконанням процесів. Коли потрібно оцінити час віддаленого вузла, він відправляє запит та очікує на відповідь, коли він отримує відповідь то обраховує різницю між часом коли було здійснено відправлення повідомлення та часом коли він отримав відповідь. Під час завершення оцінки вузол коригує свій годинник на суму оціненого часу та половину часу затраченого часу на доставлення повідомлення. Під час коригування годинників здійснюється декілька спроб відправлення повідомлень та вибирається те повідомлення яке пропонує найменший час на доставку повідомлень в обидва кінці.

Даний метод може синхронізувати декілька клієнтів використовуючи метод віддаленого зчитування годинників (рис. 3.2).

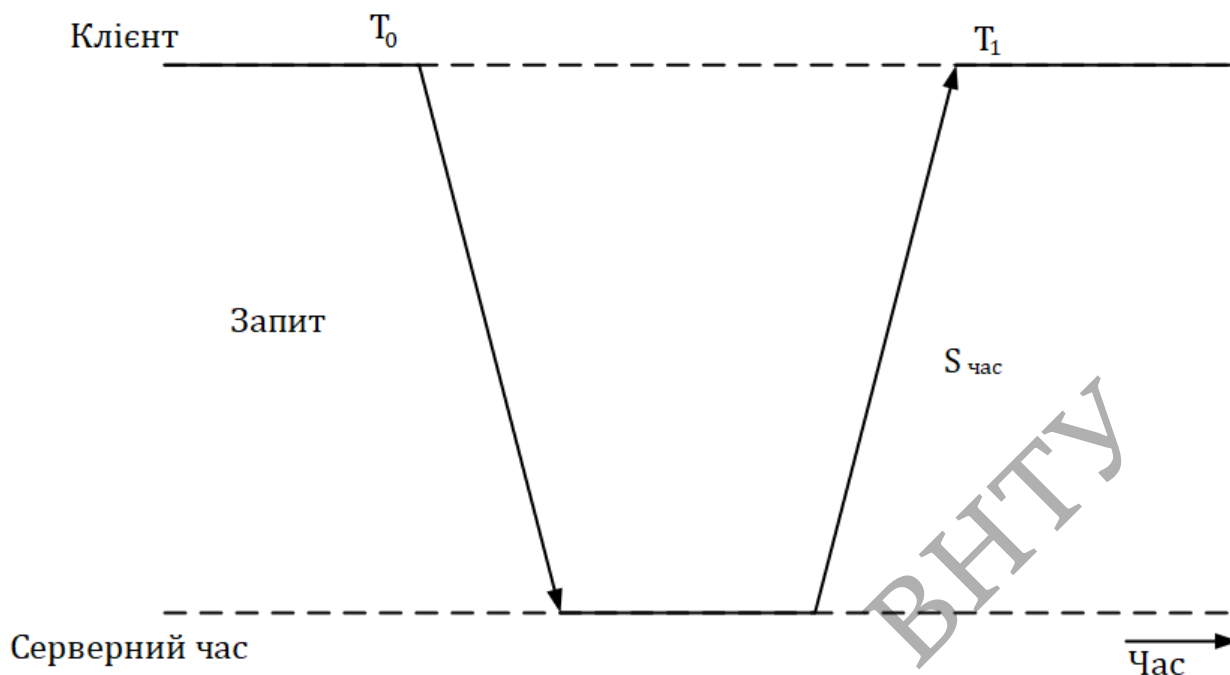


Рисунок 3.2 – Метод дистанційного зчитування

Клієнт ініціює відправлення повідомлення серверу на отримання мітки часу. Нехай відправлення повідомлення буде ініційовано в момент час T_0 який є локальний для клієнта. Потім сервер відправляє повідомлення «Відповідь», що містить мітку часу ($S_{\text{час}}$). Коли клієнт отримує дане повідомлення в свій час (T_1). Потім вузол встановлює час серверу за допомогою обчислення (3.4.1).

$$S_{\text{час}} + \frac{(T_1 - T_0)}{T_{\text{дост}}} \quad (3.4.1)$$

Де, $S_{\text{час}}$ – час серверу, T_1 – час тримання повідомлення синхронізації, T_0 – час вузла, $T_{\text{дост}}$ – час затрачений на доставку повідомлення.

Головний недолік даного способу синхронізації полягає в тому, що час на доставку повідомлення різниться через мережевий трафік та маршрутизація повідомлень. Дані фактори не тільки важко виміряти, але вони і непередбачувані. Також цей протокол має складнощі з контролем кількості повідомлень які відправлені на синхронізацію, що в свою чергу підвищує енерговитрати та додатково навантажує мережу [8].

3.4.2 Односторонній обмін повідомленнями

Найпростіший підхід для синхронізації, виникає коли для синхронізації використовується всього одне повідомлення, яке пересилається між двома вузлами (рис. 3.3). Вузол i відправляє повідомлення синхронізації вузлу j в момент часу t_1 , вбудовуючи момент часу $[t_1]$ в який було відправлено повідомлення в саме повідомлення синхронізації. Після отримання повідомлення, вузол j отримує тимчасову мітку t_2 . Різниця між двома часовими мітками являється значенням зміщення годинників між вузлами i та j , який позначається, як δ . Розрахунок різниці між двома годинниками вираховується за допомогою формули 3.4.2.1.

$$(t_2 - t_1) = D + \delta \quad (3.4.2.1)$$

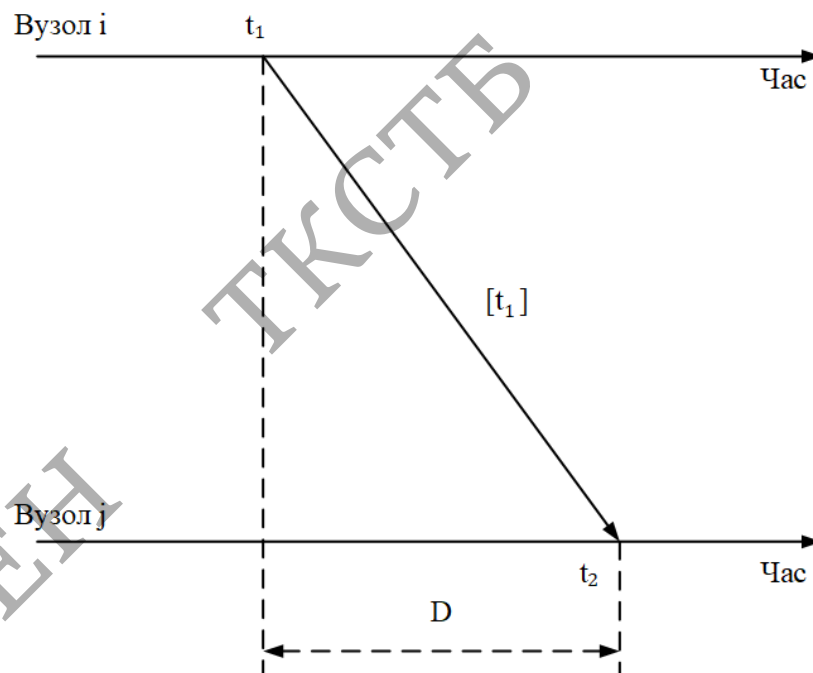


Рисунок 3.3 – Пересилання повідомлення синхронізації між вузлом i та j

Де D - це час за який повідомлення достається від вузла i до j . Зазвичай даний час незначний та дорівнює декільком мікросекундам та часто ігнорується або ж заміняється сталим значенням.

3.4.3 Двосторонній обмін повідомленнями

В порівнянні з одностороннім обміном повідомленнями двосторонній обмін повідомленнями полягає в наявності двох синхронізаційних повідомлень (рис. 3.4). В даному випадку вузол j відправляє повідомлення в момент часу t_3 , яке містить тимчасові мітки t_1, t_2 та t_3 . Після отримання повідомлення в момент часу t_4 обидва вузли визначають зміщення годинників за допомогою формул 3.4.3.1 та 3.4.3.2.

$$D = \frac{(t_2 - t_1) + (t_4 + t_3)}{2} \quad (3.4.3.1)$$

$$\text{зміщення} = \frac{(t_2 - t_1) - (t_4 + t_3)}{2} \quad (3.4.3.2)$$

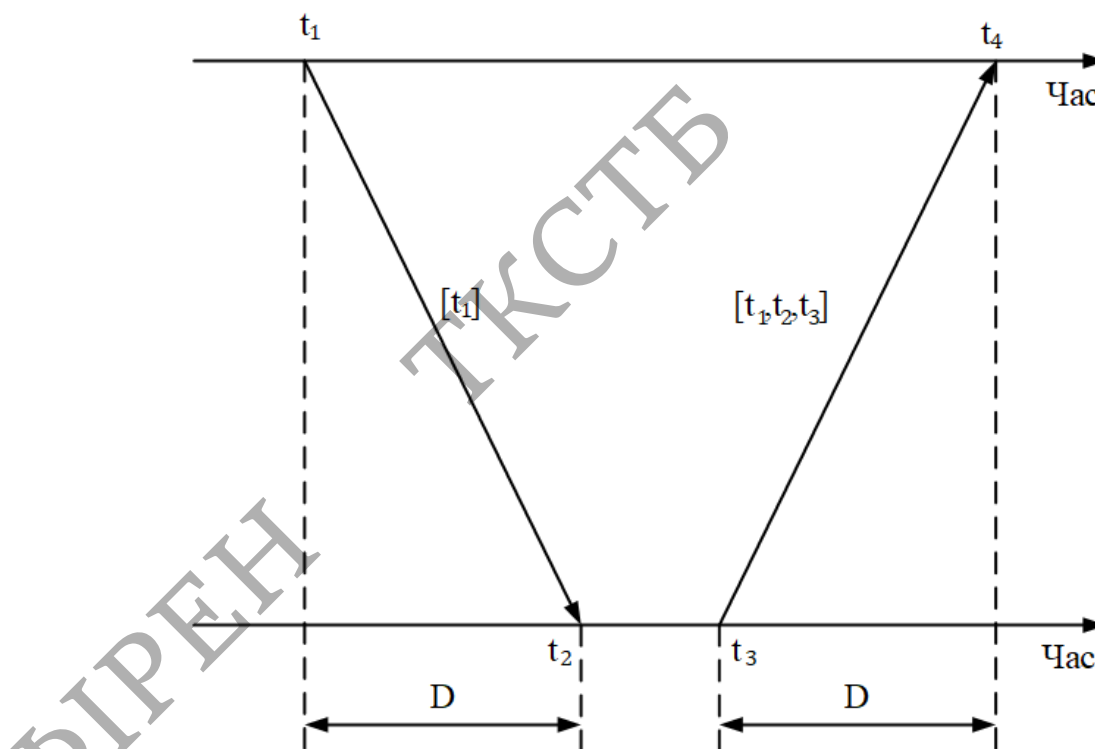


Рисунок 3.4 – Синхронізація часу між вузлами i та j

3.4.4 Синхронізація типу «Приймач – приймач» (RRS)

Даний варіант пропонує синхронізацію заснованій на часі в який приходить одне і теж повідомлення на різні вузли (рис. 3.5). Даний варіант відрізняється від

звичного підходу передавач – приймач. В даному варіанті вузли отримують ширококомвне повідомлення яке відправляється центральним вузлом, після отримання даного повідомлення вузли обмінюються між собою часом отримання даного повідомлення для обрахування зсуву годинників (рис. 3.6). В даному випадку ширококомвне повідомлення не несе в собі мітку часу, а лише час відправки повідомлення.

Основною перевагою даного методу є те, що єдині фактори які впливають на затримку повідомлення, це не детермінованість розповсюдження та час прийому повідомлення (рис. 3.7).

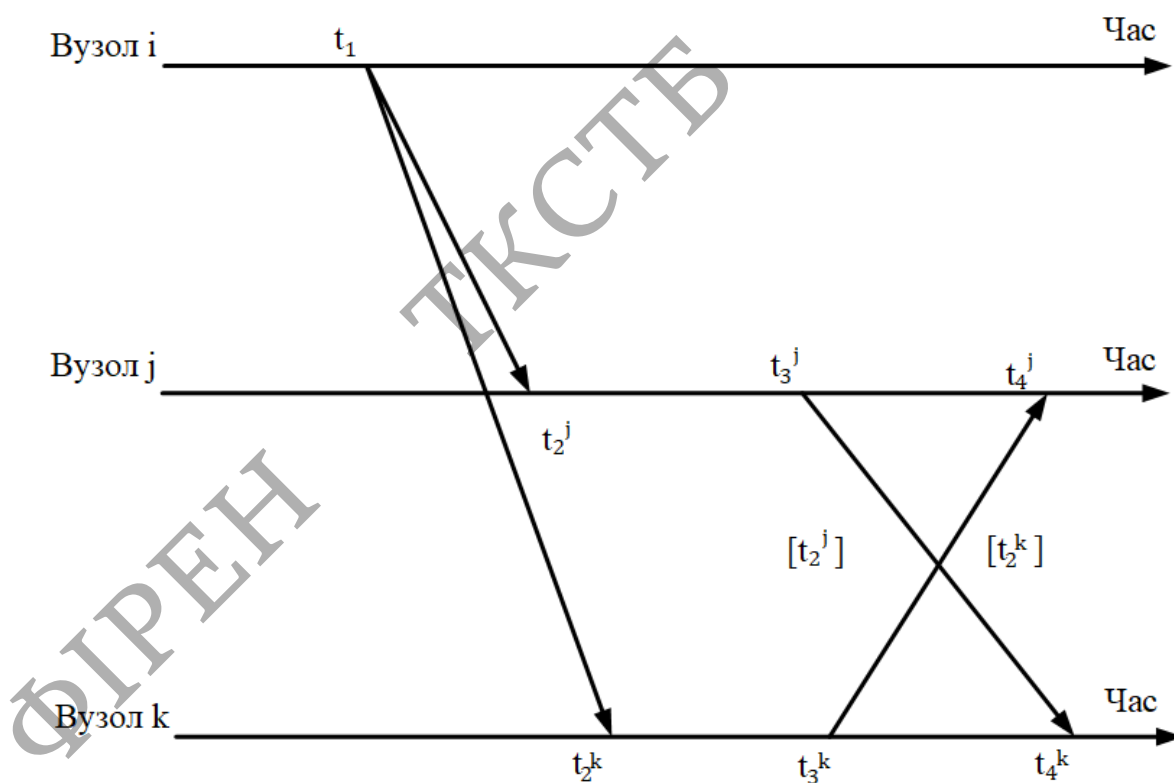


Рисунок 3.5 – Синхронізація приймачів

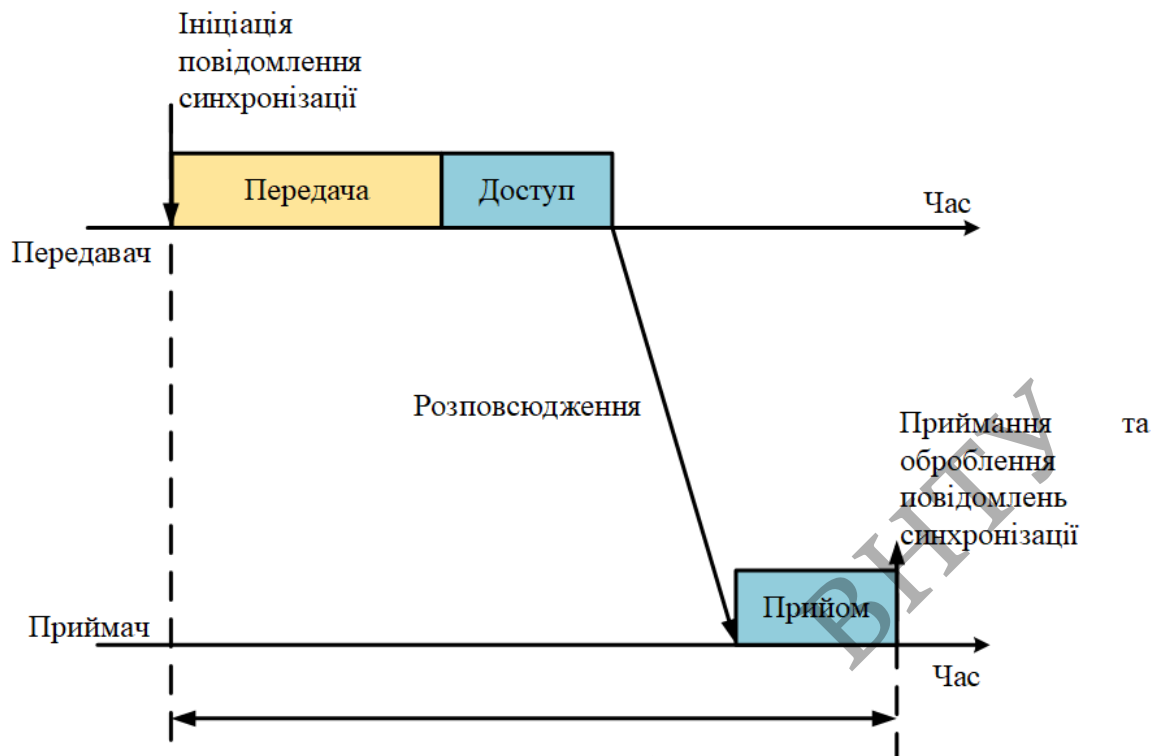


Рисунок 3.6 – Затримка при передачі повідомлення синхронізації

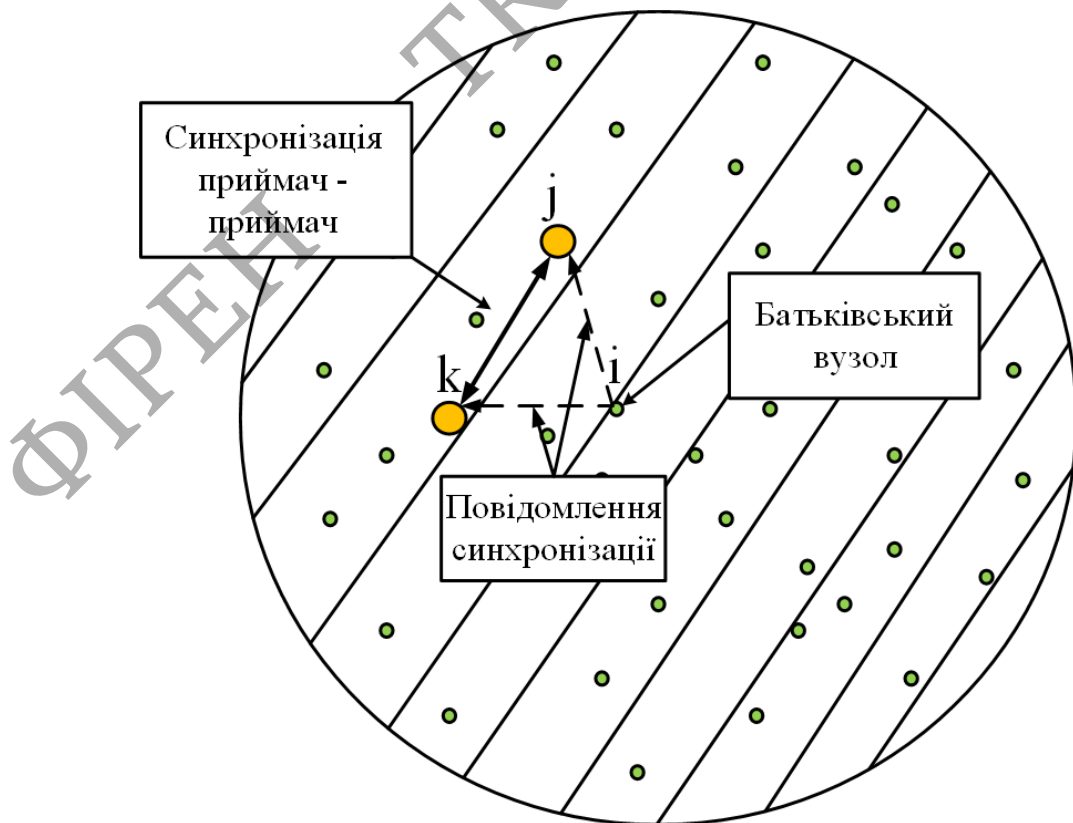


Рисунок 3.7 – Синхронізація типу «приймач – приймач»

3.4.5 Синхронізація типу «Передавач – приймач» (SRS)

Даний тип синхронізації побудований на класичній схемі обміну повідомленнями часу між двома сусідніми вузлами. Для прикладу розглянемо рисунок 3.8 на якому зображено модель синхронізації для синхронізації типу «SRS» та «ROS». Батьківський вузол Р та один з його вузлів, вузол А між якими відбувається обмін повідомленнями синхронізації. Таким чином на рисунку 3.10 зображено як відбувається обмін повідомленнями між вузлами. Так $\phi^{(AP)}$ – це зсув тактового сигналу між вузлами А та Р, а N – кількість обмінів повідомленнями між вузлами. Тимчасові мітки позначаються i – м повідомлення $T_{1,i}^{(A)}$ та $T_{4,i}^{(A)}$, які вимірюються за допомогою локального годинника вузла А та $T_{2,i}^{(P)}$ і $T_{3,i}^{(P)}$ які вимірюються локальним годинником вузла Р. Вузол А передає повідомлення синхронізації зі значенням мітки часу $T_{1,i}^{(A)}$ на вузол Р. В свою чергу вузол Р отримує повідомлення від вузла А в момент часу $T_{2,i}^{(P)}$, та передає повідомлення підтвердження отримання повідомлення синхронізації в момент часу $T_{3,i}^{(P)}$. Цей пакет містить часові мітки $T_{1,i}^{(A)}$, $T_{2,i}^{(P)}$ та $T_{3,i}^{(P)}$. Потім вузол А, отримує повідомлення $T_{4,i}^{(A)}$.

В даному варіанті синхронізації наявна велика частина детермінованих затримок, що впливає на складність під час обрахунку затримок. Однак таке рішення дозволяє досягнути більш кращої синхронізації [9].

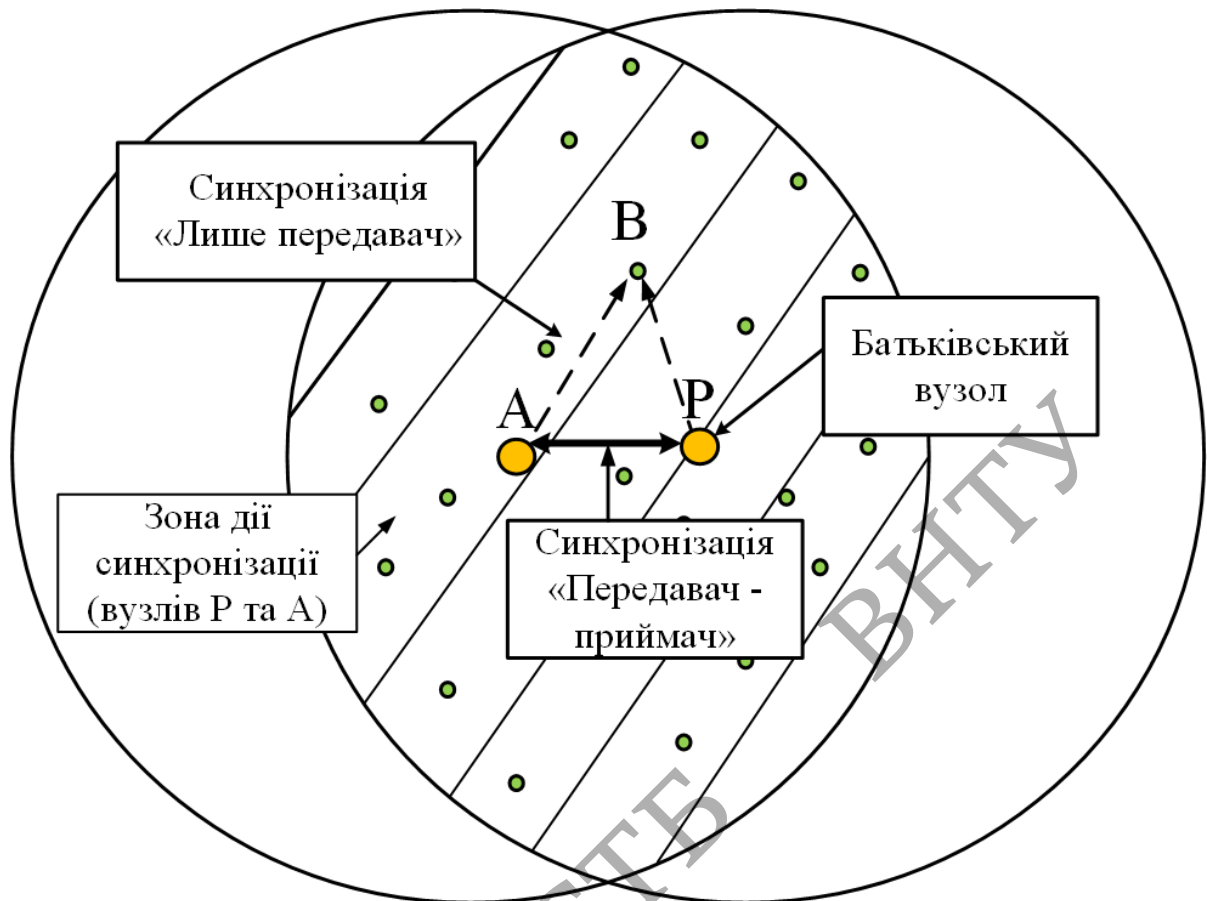


Рисунок 3.8 - Моделі синхронізації для ROS та SRS

3.4.6 Синхронізація типу «Лише передавач» (ROS)

В зв'язку з обмеженою потужністю, радіус зв'язку датчиків суворо обмежений колом. На рисунку 3.8 зображено модель синхронізації, де P – це батьківський вузол, A та B – це звичайні вузли.

Під час двостороннього обміну повідомлення між вузлом P та A, всі вузли які знаходяться в заштрихованій області, області перекриття радіусів зв'язку обох вузлів. Відбувається синхронізація всіх вузлів які знаходяться в зоні пересічення радіусів двох вузлів, а саме вузла A та вузла P. Спочатку відбувається обмін повідомлень між вузлом A та P. Після успішної синхронізації часу в вузлах A та P всі вузли які знаходяться в зоні перемишування радіусу зв'язку цих двох вузлів отримують повідомлення синхронізації без потреби отримувати повідомлення від батьківського вузла. В цьому випадку вузли A та P виступають в ролі супер – вузла.

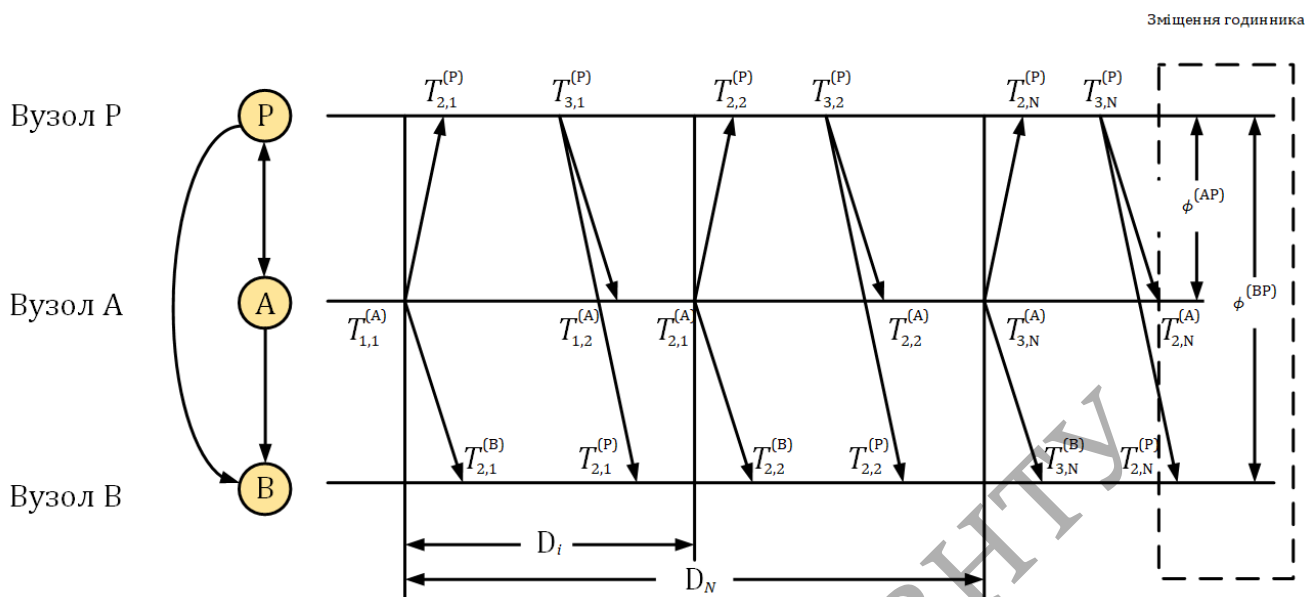


Рисунок 3.10 – Обмін повідомленнями в ROS та SRS синхронізації

Висновки до розділу 3

В цьому розділі було визначено поняття, призначення та функції годинника. Оглянуто різноманітні фактори впливу на мережу які викликають неточності в годинниках та методи боротьби з ними. Було розглянуто фундаментальні види синхронізації на базі яких побудовано різноманітні протоколи синхронізації. Їхні принципи роботи основні переваги та недоліки цих методів.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

4. Протоколи синхронізації

В даному розділі буде розглянуто існуючі протоколи синхронізації їх переваги та недоліки. Так як сенсорні мережі тісно пов'язані з середовищем за яким вони спостерігають, то умови зв'язку залежать від цього середовища. Ці умови впливатимуть на якість, стабільність зв'язку, розмір та будова мережі. В зв'язку з цим існують різноманітні протоколи синхронізації, які розроблялись для різноманітних сфер застосування, що дозволяє як найкраще розкрити потенціал мережі.

Протоколи повинні нівелювати погану якість зв'язку в мережі та її вплив на мережу в цілому. Надавати змогу всім вузлам в мережі оцінити час на годиннику в будь-якому місці мережі [14]. Забезпечувати плавну корекцію годинників в випадку їхньої розсинхронізації, а стрибкоподібну тим паче годинник не повинен рухатись назад. Синхронізація вузлів в мережі повинна економічно використовувати ресурси мережі та не перевантажувати її.

В ідеальному випадку протоколи синхронізації повинні відповідати всім висунутим вимогам для тимчасової синхронізації в БСМ. Однак умови побудови БСМ значно ускладнюють відповідність всім вимогам які висовуються до протоколів. В зв'язку з цим кожен протокол був розроблений щоб задовольняти конкретним вимогам мережі.

Опираючись на вище приведену інформацію протоколи можна класифікувати за функціями:

- Види забезпечення синхронізації
- Методи забезпечення синхронізації згідно з особливостями мережі

4.1 Види забезпечення синхронізації

За для кращого огляду видів синхронізації їх краще розглядати в порівнянні:

- Підпорядкована в порівнянні з рівноправною;
- Корекція годинників в порівнянні з некерованими годинниками;
- Внутрішня синхронізація в порівнянні з зовнішньою синхронізацією;
- Імовірнісна синхронізація в порівнянні з детермінованою синхронізацією;
- Попарна синхронізація в порівнянні з загально мережевою синхронізацією;
- Синхронізація «приймач – передавач» проти «приймач – приймач»

Підпорядкована синхронізація (Master – Slave). В даному протоколі один вузол виступає в ролі головного, а решта вузлів в мережі підпорядкованого. Під час синхронізації підпорядковані вузли коригують свій час згідно з часом головного вузла.

До переваг даного способу можна віднести його простоту, а до недоліків те що такий спосіб навантажує мережу, адже для синхронізації всієї мережі потрібно стільки ж повідомлень стільки й пристроїв в мережі. Та в випадку збою головного вузла вся мережа також зазнає збою [10].

Рівноправна синхронізація (Peer-to-Peer).

В даному випадку будь-який вузол в мережі має змогу зв'язуватись з будь – яким іншим вузлом в цій мережі для синхронізації. Цей варіант синхронізації усуває можливість виходу мережі з ладу в зв'язку зі збоєм головного вузла. Такий метод забезпечує більшу стабільність мережі однак, таку мережу важче контролювати.

Порівнюючи цих два види синхронізації можна сказати, що перший вид краще застосовувати в невеликих та легко доступних мережах, за для зменшення навантаження на мережу та зможі їхнього обслуговування в випадку виходу з ладу головного вузла. Однак другий вид синхронізації це протилежність першому. Його можна використовувати в мережах з великою кількістю вузлів так як синхронізація

відбувається між вузлами, а не між головним вузлом та підрядним йому, однак такий вид вимагає більш кращого контролю часу.

Корекція годинників. Метод заснований на синхронізації годинників з глобальним тимчасовим часом або ж з атомним годинником. Корекція годинників в цьому варіанті відбувається миттєво або плавно.

Некерований годинник. В даному методі кожен вузол має свій власний локальний годинник, який веде таблицю переведення часу яка пов'язує власний годинник вузла з годинниками інших вузлів в мережі. Звична синхронізація відсутня замість неї вузол перетворює інформацію про час в пакети даних, що приходять від інших вузлів та перетворює її в свій локальний час використовуючи таблицю відповідності часу. Таким чином в мережі підтримується глобальне значення часу, без прив'язки до центрального годинника. Під час обміну повідомлення між вузлами їм присвоюється мітка часу приймаючого вузла. В цьому випадку враховуються затримки під час проходження повідомлення між вузлами та час на оброблення повідомлення [13].

Внутрішня синхронізація. Як і в двох попередніх варіантах синхронізації ці два також абсолютна протилежність один одному. В першому випадку синхронізація відбувається з центральним вузлом та опирається на глобальний годинник мережі чи на глобальний час атомного годинника. Корекція відбувається миттєво. Такий підхід підходить для невеликих мереж де потрібна висока чіткість часу. Це зумовлено тим що синхронізація відбувається миттєво.

В другому варіанті синхронізації використовується локальне значення часу в вузлі, що дозволяє використовувати безліч вузлів в мережі без глобального значення часу і при цьому вони все одно будуть синхронізовані. Також в даному виді синхронізації враховуються затримки на відправлення повідомлення та час на його оброблення.

Внутрішня синхронізація. При цій синхронізації між собою синхронізуються тільки два вузли, без прив'язки до зовнішніх міток часу. Основною метою цього типу синхронізації є отримання загального поняття про часу мережі на основі різниці часу між двома вузлами, навіть якщо це час буде відрізнятися від будь яких зовнішніх міток часу. Така синхронізація може забезпечувати як синхронізацію із зовнішнім джерелом часу, як атомний годинник, так і внутрішню синхронізацію між всіма годинниками в мережі. При такому типі синхронізації два вузли в мережі синхронізовані з зовнішнім джерелом часу з точністю Δ , однак вони також синхронізовані внутрішньо з точністю 2Δ .

Під час синхронізації з зовнішнім системним годинником точність годинника буде вираховуватись як різниця годинника вузла відносно системного годинника. А коли вузли в мережі синхронізуються внутрішньо, точність годинника обраховується, як максимальне зміщення часу між двома будь – яким годинниками мережі.

Зовнішня синхронізація. Означає що всі годинники в мережі синхронізуються з зовнішнім джерелом часу, як стандарт часу UTC або ж з системним часом. Такий підхід до синхронізації підходить для слабко зв'язних мереж як інтернет. В більшості випадків вузли не потребують синхронізації, якщо додаток не вимагає від них цього, так як обмін повідомленнями являється одним з найбільш енергозатратних задач.

Внутрішня синхронізація чудово підходить для рознесеної мережі так як її підхід дозволяє краще досягнути стабільності в часі в самій мережі. Такий спосіб може виконувати синхронізацію в «рівноправному режимі» та «підпорядкованому» режимі. Зовнішня ж синхронізація підходить для надання точного часу кінцевим користувачам, енергоефективністю так як має змогу запитувати повідомлення про точний час за вимогою додатків. Однак вимагає високих енергозатрат на запит точного часу головним вузлом для синхронізації

його та вузлів в мережі. Також синхронізація відбувається тільки в «підпорядкованому» режимі.

Імовірнісна синхронізація. Даний протокол забезпечує інформацію про ймовірне зміщення такту синхронізації з ймовірністю відмови, яка в свою чергу може бути обрахована або ж обмежена. Такий підхід до синхронізації дозволяє використовувати меншу кількість повідомлень та відмовитись від додаткового оброблення повідомлень. Це призводить до збільшення енергоефективності мережі в зв'язку з меншими затратами енергії на прийом та передачу повідомлень.

Детермінована синхронізація. На відміну від імовірнісної синхронізації цей тип синхронізації гарантує крайню верхню межу зміщення годинників

Попарна синхронізація. Група протоколів які призначенні для синхронізації пари вузлів. В деяких випадках кількість вузлів можна розширити аби забезпечувати синхронізацію групі вузлів.

Загальносистемна синхронізація. Протоколи які призначенні для синхронізації великої кількості вузлів.

Синхронізація «приймач – передавач». Традиційний підхід в якому синхронізація відбувається в три етапи. Спочатку передавач відправляє повідомлення з його часом, який виступає міткою для отримувача. Потім приймач на основі цієї мітки синхронізується з передавачем. Затримка між приймачем та передавачем обраховується шляхом вимірювання часу методом його округлення з моменту запиту повідомлення синхронізації до моменту коли повідомлення було отримано [11].

Синхронізація «приймач – приймач». Такий підхід базується на ширококомовному обміні повідомленнями. Під час розсилання такого повідомлення пара вузлів які отримали його здійснюють обмін повідомлення з часовими мітками коли вони саме його отримали на основі цієї інформації вони обраховують зміщення вузлів.

При реалізації синхронізації першим методом існує затримка в сполученні між обміном повідомленнями. Також додається затримка на оброблення та підготовку повідомлення [12]. В другому варіанті ця затримка нівелюється.

ФІРЕН
ТКСТБ
ВНТУ

Висновки до розділу 4

В даному розділі були розглянуті основні протоколи синхронізації, а саме їхні особливості, переваги та недоліки. Було проведено порівняльний аналіз кожного з основних протоколів та на основі цих даних було зроблені висновки в якому випадку який протокол краще використовувати.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

5. МЕТОД ПРЕЦИЗИЙНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ

5.1 Постановка задачі

Більшість бездротових сенсорних мереж побудовані на автономних джерелах живлення. Розрахунковий час експлуатації такої мережі, декілька років. Такий тривалий термін роботи досягається завдяки імпульсному режиму роботи, під час якого більшу частину часу мережа знаходиться в режимі сну. Періодично вузли переходять в режим активності для збору інформації про середовище за яким здійснюється спостереження та для обміну повідомленнями між вузлами. Для обміну повідомленнями між вузлами потрібно щоб всі вузли, які беруть участь в обміні повідомлення одночасно ввімкнули свої прийомо – передавачі. Ця процедура вимагає синхронізації між вузлами. Також синхронізація потрібна для знання точного часу, щоб формувати часові мітки для подій в вузлах. Існує декілька можливих варіантів сеансів зв'язку.

1) Сенсорний вузол який очікує приймання повідомлення починає прослуховувати ефір трішки раніше ніж передавальний вузол починає відправляти повідомлення. Такий сеанс буде вважатись успішним (рис. 5.1).

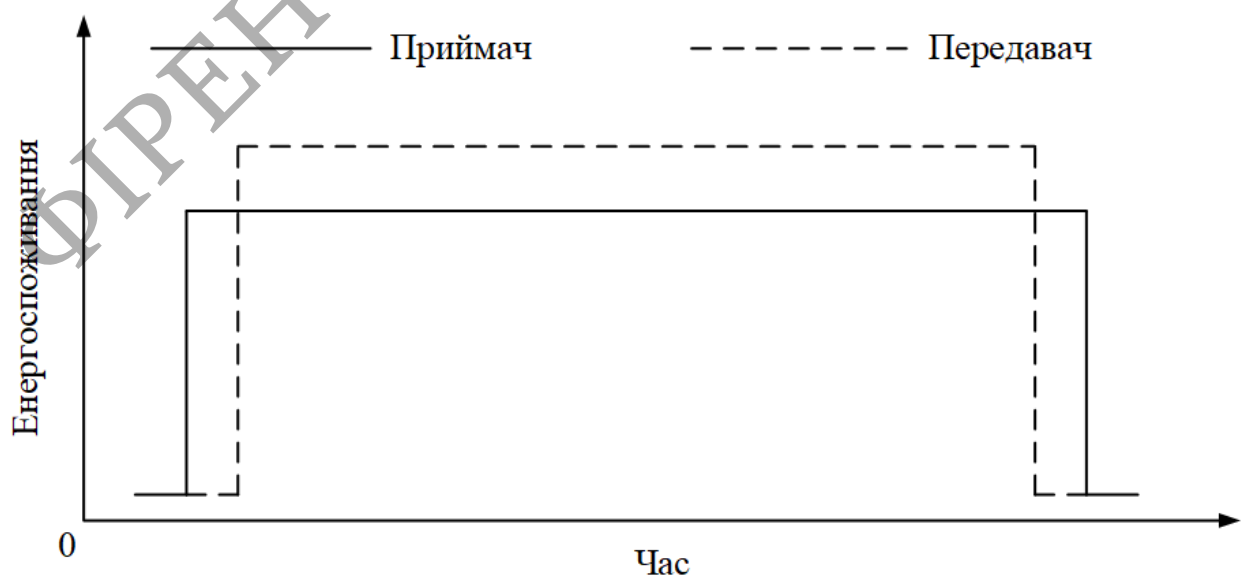


Рисунок 5.1 – Успішний сеанс зв'язку

2) Поступова розсинхронізація годинників приводить до того, що приймаючий вузол починає прослуховувати ефір набагато раніше, а ніж передавальний вузол починає сеанс (рис. 5.2). Такий сеанс зв'язку буде неефективним так як приймальний вузол витрачає багато часу на прослуховування ефіру ніж потрібно для отримання повідомлення.

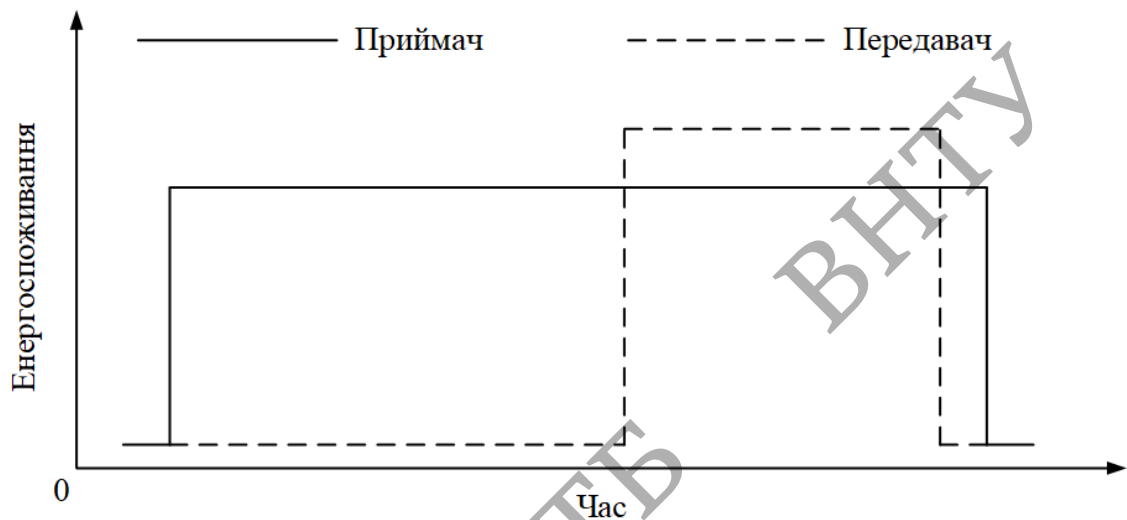


Рисунок 5.2 – Неефективний сеанс зв'язку

3) Під час порушення синхронізації приймаючий вузол закінчує сеанс прослуховування каналу ще до того як відбувся сеанс передачі повідомлення в передаючому вузлі (рис. 5.3). В такому випадку Сеанс зв'язку буде вважатись невдалим.

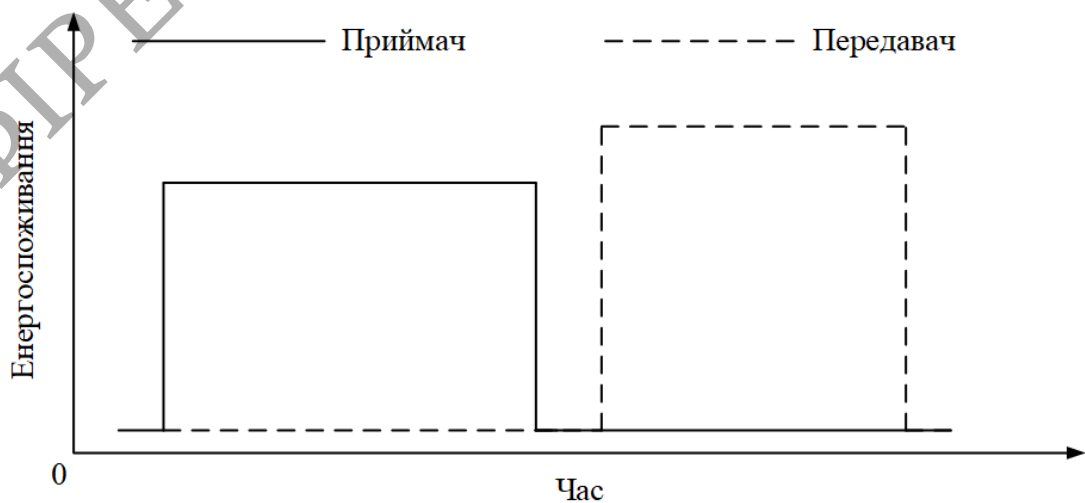


Рисунок 5.3 – Невдалий сеанс зв'язку

Основним джерелом енерговитрат в сенсорних вузлах є приймач. Оптимізувавши час роботи прийомо – передавача, можна суттєво зменшити витрати енергії. Чим точніше синхронізовані вузли між собою тим менше їм потрібно часу для прослуховування ефіру, що в свою чергу зменшує час «пустого» прослуховування ефіру та зменшує енергозатрати.

В більшості систем є один недолік в них для підтримання синхронізації використовуються «швидкі» годинники. Перевагою цих годинників є висока точність, що дозволяє мінімізувати похибку синхронізації між повідомленнями однак такий спосіб вимагає високих енергозатрат через постійну роботу цих годинників. Також існують системи в яких для синхронізації використовують системи глобального позиціонування. Цей спосіб дозволяє отримати доволі точні показники часу, однак вимагає високих енергозатрат, а його встановлення в сенсорний вузол збільшує його вартість.

З цього всього виходить, що потрібно використовувати найбільш точний метод синхронізації за для мінімізації енергоспоживання для збільшення терміну роботи вузла. З всіх варіантів які зараз використовуються синхронізацію можливо досягнути тільки з одною перевагою, або високою точністю але страждає енергоефективність, або ж з високою енергоефективністю однак низькою точністю.

5.2 Ідея методу

Даний підхід базується на створенні платформи синхронізації яка буде містити в собі комбінації двох локальних годинників, а саме:

- Повільний з частотою 32768 Гц, який має низьку стабільність однак і високу енергоефективність;
- Швидкий з частотою 1 МГц, він має високу стабільність та при цьому низьку енергоефективність.

Передбачається, що повільний годинник буде працювати постійно та буде забезпечувати вихід вузла з режиму «сну». Цей годинник буде тактуватись від

резонатора камертонного типу. В режимі «сну» швидкий годинник працювати не буде за для підвищення енергоефективності вузла. Під час сеансу зв'язку швидкий годинник буде вмикатись за для визначення точного часу ввімкнення прийомо – передавача.

За для зменшення швидкості розбіжностей локальних годинників, кожен з вузлів автономно калібрує повільні годинники відносно швидких. Під час калібрування годинників не відбувається їхнє переведення, а знаходяться лиш коефіцієнти відносних зсувів, які впливають на обрахунок часових інтервалів та часу наступного сеансу зв'язку.

Даний метод дозволяє досягнути попарної синхронізації, це означає що кожен з вузлів має інформації про розходження його власного часу з часом тільки тих вузлів, з якими він має зв'язок. Також існує модель синхронізації часу, де синхронізація часу відбувається в всій мережі однак такий метод ускладнює алгоритм і призводить до зменшення енергоефективності, при цьому не надаючи суттєвих переваг.

5.3 Врахування температурного коефіцієнту

Так як сенсорна мережа розрахована на спостереження за різноманітними умовами і може бути встановлена в найрізноманітніших місцях з перепадами температур. При використанні методу який описаний в підпункті 5.2 потрібно врахувати температурні поправки. Частота кварцових резонаторів які містяться в кожному вузлі має перспективу змінюватись в залежності від температури, причому цій зміни чутливий як повільний так і швидкий годинник. Так на рисунку 5.4 та 5.5 показані залежності зміни частоти відносно температури для повільного та швидкого годинника.

Так як швидкий годинник використовується тільки для вимірювання відносно коротких проміжків часу то впливом температури на них можна знехтувати. Більшість часу вузли користуються повільними годинниками.

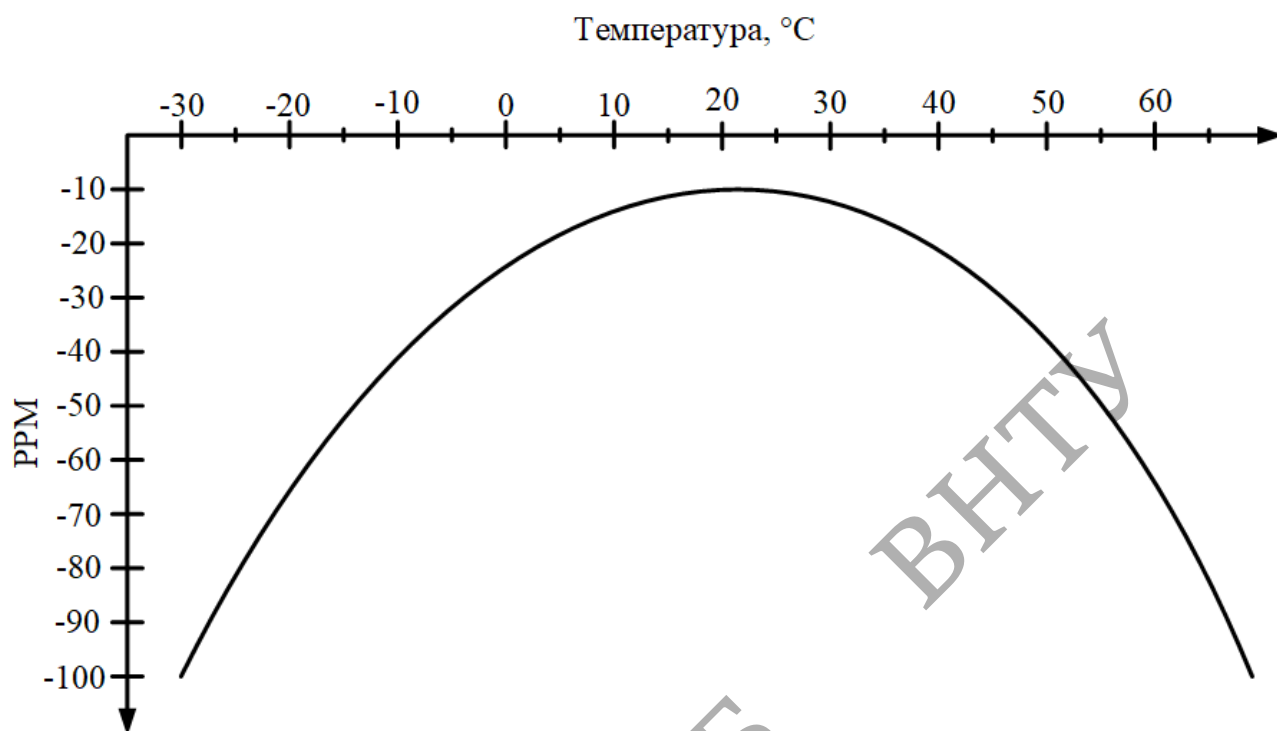


Рисунок 5.4 – Залежність частоти повільного годинника від температури

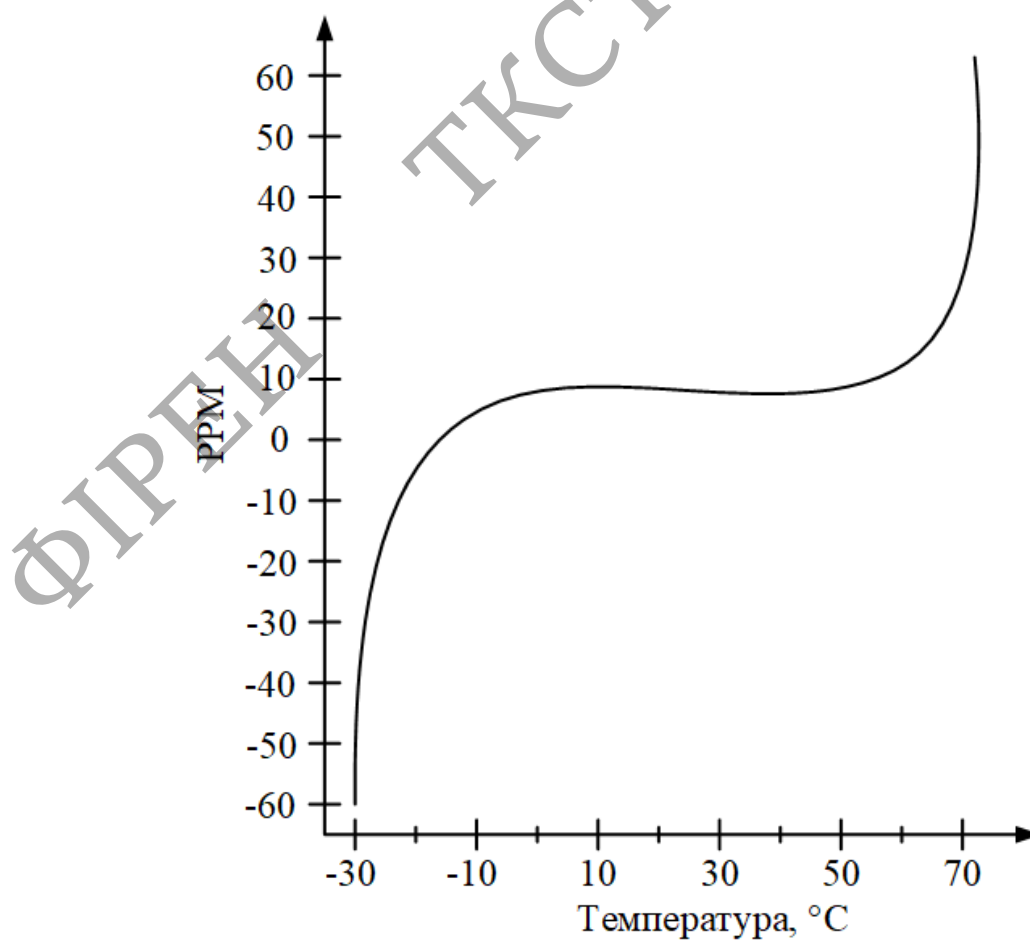


Рисунок 5.5. – Залежність частоти швидкого годинника від температури

Пропонується наступна процедура поправок в залежності від температури, яка буде виконуватись регулярно і буде включати в себе наступні події:

1. Опитування датчиків температури;
2. Обчислення відхилень поточної частоти від номінальної згідно з даними з рисунка 5.5, за формулою 5.1;

$$d = \frac{32768}{1000000} * p \quad (5.1)$$

Де d – шукана частота при поточній температурі, Гц;

P – зміна частоти при поточній температурі, ppm.

3. Обчислення часу t_1 , що пройшов з моменту попередньої корекції;
4. Обчислення часу t_2 , що пройшов з моменту попередньої корекції з урахуванням відхилень частоти згідно з формулою 5.2:

$$t_2 = \frac{t_1 * 32768}{32768 - d} * p \quad (5.2)$$

5. Обчислення різниці між t_1 та t_2 та збереження величини t_d згідно з формулою 5.3:

$$t_d = t_1 - t_2 \quad (5.3)$$

Зміна температури це поступовий процес, який не враховувався в даній процедурі однак при достатній частоті виклику функції обрахунку зміни частоти даний параметр не вплине на кінцевий результат. В якості заміни даному методу можна використовувати температурно - компенсовані генератори однак вони менш енергоефективні та більш вартісні. Також можливо використовувати побудову корекційних таблиць. Суть цього методу полягає в побудові таблиці відповідності частоти кожного відповідного резонатора на основі даних які отримуються в термокамері.

5.4 Калібрування повільних годинників відносно швидких

Суть калібрування полягає в тому, щоб виміряти один часовий інтервал за допомогою повільного та швидкого годинника, а потім обрахувати калібрувальний

коефіцієнт C_c . Дана процедура єдина під час якої швидкий годинник використовується для вимірювання таких тривалих часових інтервалів, тому в цьому випадку до швидкого годинника також потрібно застосувати температурну корекцію, яка описана в підпункті 5.3. Самий метод полягає в виконанні таких дій:

1. Для початку в вузлі відмикається режим «сну», це потрібно за для того щоб швидкий годинник не вимикався під час калібрування;
2. Потім відбувається перший збір даних з обох годинників одночасно;
3. Після першого збору відбувається затримка в зборі, але не більше 900 мс;
4. Потім відбувається другий збір даних з обох годинників;
5. На основі отриманих даних обраховується калібрувальний коефіцієнт C_c згідно з формулою 5.4.

$$C_c = 1 + \frac{\Delta_f - \Delta_s}{\Delta_s} \quad (5.4)$$

де C_c – калібрувальний коефіцієнт;

Δ_f – часовий інтервал який минув з моменту першого збору даних до моменту другого забору даних згідно з показниками швидкого годинника;

Δ_s - часовий інтервал який минув з моменту першого збору даних до моменту другого забору даних згідно з показниками повільного годинника.

Даний процес проводиться замість одного з запланованих режимів сну. Таким чином довготривала експлуатація процесору залишається непоміченою та не заважає решті процесів в системі, як моніторинг за навколишнім середовищем. Отриманий коефіцієнт буде використовуватись кожного разу при зверненні за показниками повільного годинника. Дана процедура дозволяє уникнути впливу помилки одного з годинників. Таке калібрування доцільно проводити при старті системи, однак і можна використовувати для компенсування накопичувальної помилки.

5.5 Алгоритм здійснення синхронізації годинників вузлів в БСМ

Способи синхронізації які були описані вище дозволяють досягнути максимальної точності годинників в одному вузлі, однак з часом годинники різних вузлів будуть мати різні показники відносно один одного. Основними причинами цього є зміна температурних показників вузла та нестабільність кварцового резонатора. Саме з останньою причиною не виходить боротись методом калібрування. Тому за для боротьби з нестабільністю резонаторів потрібно розробити новий метод синхронізації, який буде забезпечувати підтримку синхронізації після введення мережі в експлуатацію.

Для реалізації даного методу було запропоновано алгоритм, який описаний нижче:

1. Під час планування наступного сеансу зв'язку приймаючий вузол оцінює час через котрий повинен відбутись сеанс зв'язку. На основі цих даних розраховується час прослуховування каналу зв'язку, і він тим більше, чим більше час до наступного сеансу зв'язку. Також на основі цих даних розраховується початок прослуховування каналу так щоб початок отримання повідомлення припадав на середину прослуховування каналу;
2. Під час сеансу зв'язку, вузол який виконує передачу виконує одну з дій в залежності від того чи є дані для передачі:
 - a. Якщо маютьься дані для обміну, то відбувається передачі їх в звичайному повідомленні;
 - b. Якщо ж дані відсутні то відправляється пuste повідомлення мінімальної довжини, довжина якого залежить від типу мережі. Дана процедура виконується за для підтримки синхронізації навіть за відсутності нових даних.
3. Коли приймальний вузол отримує повідомлення, він за допомогою переривання формує часову мітку, яка означає фактичний час початку отримання повідомлення. Після отримання пакету обраховується

різниця між фактичним часом прийому повідомлення та очікуваним за формулою 5.5 і на основі цих даних виконується зсув наступного сеансу зв'язку згідно з формулою 5.6.

$$D = t_{\phi} - t_o \quad (5.5)$$

де D – різниця між фактичним та очікуваним часом прийому отримання повідомлення;

t_{ϕ} – фактичний час отримання повідомлення;

t_o – очікуваний час отримання повідомлення.

$$C'_S = C_S + D \quad (5.6)$$

Де C'_S – зсув наступного сеансу зв'язку;

C_S – поправка на відому розбіжність;

D – різниця між фактичним та очікуваним часом прийому отримання повідомлення.

Якщо під час обрахунку за формулою 5.5 отримуємо $D \neq 0$, то це означає що годинники двох сенсорів йдуть з різною швидкістю. Дане розходження можна розрахувати за допомогою формули 5.7 та використати її від час планування наступного сеансу зв'язку.

$$S = \frac{D}{T_{sync}} \quad (5.7)$$

де S – розходження синхронізації, знак значення буде вказувати на від'ємне чи додатне розходження годинників;

T_{sync} – час який пройшов з моменту попередньої синхронізації;

Для обрахунку величини компенсації зсуву годинників буде використовуватись формула 5.8.

$$C_d = T_n * S \quad (5.8)$$

де T_n – час до наступного сеансу зв'язку.

Даний спосіб синхронізації являється пасивним. Він не вимагає додаткової інформації під час обміну повідомленнями для синхронізації. Однак такий спосіб вимагає від вузла обраховувати велику кількість показників.

Під час отримання показників повільного годинника вже будуть враховуватись поправка на температурний коефіцієнт а також на нестабільність кварцового резонатора та будуть обраховані за формулою 5.9.

$$t = t' * C_c + C_t \quad (5.9)$$

де t – показник повільного годинника з урахуванням поправок;

t' - початкові показники повільного годинника.

Якщо наступний сеанс зв'язку повинен відбутись через час T , то згідно локального годинника сенсору сеанс повинен відбутись через час який обраховується за формулою 5.10.

$$T' = T + C_s + C_d - \frac{C_u}{2} \quad (5.10)$$

де C_u – запас на максимальне розходження годинників, що минув з моменту останньої синхронізації.

Інколи сеанс зв'язку може не відбутись, наприклад через сильні перешкоди під час сеансу зв'язку. Тоді сеанс синхронізації не відбудеться тому під час наступного сеансу зв'язку приймаючий вузол повинен врахувати це, та збільшити запас на прослуховування каналу зв'язку.

Висновки до розділу 5

В даному розділі було допрацьовано метод прецизійної синхронізації у БСМ за допомогою використання комбінації повільних та швидких годинників. Цей метод дозволяє підвищити енергоефективність мережі за рахунок комбінації переваг обох типів годинників. Також дозволяє підвищити точність синхронізації та уникнути помилок синхронізації під час передавання повідомлень які притаманні іншим типам синхронізації. Так як в цьому методі всі обрахунки проводяться на стороні вузла і на основі отриманих даних самого вузла.

6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

6.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 6.1 та 6.2.

Таблиця 6.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	-	-	-
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	-	-	48
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	40	38	-
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	-	-	-
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	-	-	-
Середнє значення балів експертів		42,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує

невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 6.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	-	-	-
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	-	60	-
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	52	-	55
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	-	-	-
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	-	-	-
Середнє значення балів експертів	55,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [24]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (6.1)$$

де $k_{\text{нов}}$, $k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 42,0$, $k_{\text{теор}} = 55,7$ балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 42,0 + 0,4 \cdot 55,67 = 47,47 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах», даний рівень становить 47,47 балів і відповідає статусу - достатній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

6.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах », під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

6.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми,

обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [24]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (6.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дні.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 12500,00 \cdot 22 / 22 = 12500,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 6.2.1 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник дослідження	12500,00	568,18	22	12500,00
Інженер радіоелектронних систем	10200,00	463,64	17	7881,82
Лаборант	10000,00	454,55	15	6818,18
Всього				27200,00

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (6.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (6.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=2379,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [24];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дні;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 2379,00 \cdot 1,10 \cdot 1,5 / (22 \cdot 8) = 22,30 \text{ грн.}$$

$$Z_{p1} = 22,30 \cdot 1,00 = 22,30 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.8 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
встановлення обладнання безпроводної сенсорної мережі	1,00	2	1,10	22,30	22,30
налагодження обладнання	1,50	4	1,50	30,41	45,62
формування цифрових систем передачі	6,00	4	1,50	30,41	182,48
відлагодження	1,00	3	1,35	27,37	27,37
формування бази даних	3,00	2	1,10	22,30	66,91
підбір компонентів дослідження	1,50	3	1,35	27,37	41,06
налаштування мікроконтролера	0,65	4	1,50	30,41	19,77
корегування сенсорної підсистеми	0,50	5	1,70	34,47	17,23
зміна та монтаж блоків підсистем	2,32	3	1,35	27,37	63,50
Всього					486,25

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (6.5)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (27200,00 + 486,25) \cdot 10 / 100\% = 2768,62 \text{ грн.}$$

6.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (6.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (27200,00 + 486,25 + 2768,62) \cdot 22 / 100\% = 6700,07 \text{ грн.}$$

6.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\epsilon j}, \quad (6.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$C_{\epsilon j}$ – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 3,00 \cdot 94,20 \cdot 1,11 - 0,000 \cdot 0,00 = 313,69 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 6.9 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір офісний А4 ECONOM-500	94,20	3,00	0,000	0,00	313,69
Папір для записів А4 DATUM100	45,00	2,00	0,000	0,00	99,90
Приладдя канцелярське DATUM-г	200,00	4,00	0,000	0,00	888,00
Витратні матеріали	150,00	1,00	0,000	0,00	166,50
Інше	350,00	1,00	0,000	0,00	388,50
Всього					1856,59

6.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (6.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 1 \cdot 82,00 \cdot 1,1 = 90,20 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 6.10 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Приймач (модель 1)	1	82,00	90,20
Приймач (модель 2)	1	84,00	92,40
Приймач (модель 3)	1	95,00	104,50
Процесор	1	260,00	286,00
Пам'ять	1	145,00	159,50
Цифроаналоговий перетворювач	1	98,00	107,80
Аналогоцифровий перетворювач	1	110,00	121,00
Комплект датчиків	2	164,00	360,80
Актуатори	4	78,00	343,20
Вузол живлення	1	36,00	39,60
Блок візуалізації	1	69,00	75,90
Блок вводу для зміни режимів роботи, перезавантаження	1	100,00	110,00
Всього			1890,90

6.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (6.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{np.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$V_{спец} = 520,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 577,20 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 6.11 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Радіомодем	1	520,00	577,20
АЦП	1	350,00	388,50
Набір інтерфейсів	1	810,00	899,10
Інші периферійні пристрої	1	680,00	754,80
Всього			2619,60

6.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$V_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{инрг} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (6.10)$$

де $C_{инрг}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прг.і}}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$V_{\text{прг}} = 6800,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 7480,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.12 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Data Base 1940	1	6800,00	7480,00
Windows 10 - 1272	1	6100,00	6710,00
Програмний пакет обробки даних WS-42	1	34000,00	37400,00
Всього			51590,00

6.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{\text{обл}} = \frac{Ц_{\text{б}}}{T_{\text{е}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (6.11)$$

де $Ц_{\text{б}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{\text{вик}}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_g – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (27800,00 \cdot 1) / (4 \cdot 12) = 579,17 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 6.13 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Обчислювальний центр та комп'ютеризована система проектування	27800,00	4	1	579,17
Вимірювальний комплекс	18200,00	5	1	303,33
Генератор сигналу цифровий	8000,00	5	1	133,33
Осцилограф цифровий високоточний	11000,00	5	1	183,33
Офісне устаткування	12300,00	4	1	256,25
Монтажне обладнання	6500,00	5	1	108,33
Програмне забезпечення	9200,00	2	1	383,33
Лабораторія	340000,00	20	1	1416,67
Всього				3363,75

6.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (6.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 4,10$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,02 \cdot 110,0 \cdot 4,10 \cdot 0,95 / 0,97 = 9,02 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 6.14 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Рідіомодем	0,02	110,0	9,02
Обчислювальний центр та комп'ютеризована система проектування	0,72	160,0	472,32
Вимірювальний комплекс	0,36	60,0	88,56
Генератор сигналу цифровий	0,06	30,0	7,38
Осцилограф цифровий високоточний	0,12	45,0	22,14
Офісне устаткування	1,32	100,0	541,20
Всього			1140,62

6.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням

досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (6.13)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (27200,00 + 486,25) \cdot 20 / 100\% = 5537,25 \text{ грн.}$$

6.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (6.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (27200,00 + 486,25) \cdot 30 / 100\% = 8305,87 \text{ грн.}$$

6.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{\text{в}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{в}}}{100\%}, \quad (6.15)$$

де $H_{\text{в}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{в}} = 60\%$.

$$I_{\text{в}} = (27200,00 + 486,25) \cdot 60 / 100\% = 16611,75 \text{ грн.}$$

6.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (6.16)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{\text{нзв}} = 100\%$.

$$B_{\text{нзв}} = (27200,00 + 486,25) \cdot 100 / 100\% = 27686,25 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах » розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{\text{заг}} = Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{н}} + M + K_{\text{в}} + B_{\text{спец}} + B_{\text{прг}} + A_{\text{обл}} + B_{\text{е}} + B_{\text{св}} + B_{\text{сп}} + I_{\text{в}} + B_{\text{нзв}}. \quad (6.17)$$

$$B_{\text{заг}} = 27200,00 + 486,25 + 2768,62 + 6700,07218 + 1856,59 + 1890,90 + 2619,60 + 51590,00 + 3363,75 + 1140,62 + 5537,25 + 8305,87 + 16611,75 + 27686,25 = 157757,52 \text{ грн.}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (6.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,9$.

$$ZB = 157757,52 / 0,9 = 175286,14 \text{ грн.}$$

6.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (6.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 3$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 3$;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C = 2$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 3$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 175286,14$;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,08$ років, (1 міс.).

Визначення показників I, n, T_C, R, B, t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [24].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 11,09$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

Висновки до розділу 6

Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи синхронізації в безпроводових сенсорних мережах» є достатній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В сьогоденні проблеми охорони праці вирішуються на національному рівні в масштабах держави. Основна увага приділяється усуненню шкідливого впливу технологічних процесів на організм людини шляхом оздоровлення умов праці на виробництві.

Розробка методів синхронізації в безпроводових сенсорних мережах відбуватиметься в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На розробника, згідно ГОСТ 12.0.003-74 [16], могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

Відповідно до визначених факторів формуємо рішення щодо безпечного виконання роботи під час розробки методів синхронізації в безпроводових сенсорних мережах.

7.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

7.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця

Головними елементами робочого місця розробника методів синхронізації в безпроводових сенсорних мережах є стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення працівника. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і постійність розміщення предметів, засобів праці і документації. Те, що потрібне

для виконання робіт частіше, розташоване в зоні легкої досяжності робочого простору.

Для комфортної роботи стіл повинен задовольняти наступним умовам:

- висота столу повинна бути вибрана з урахуванням можливості сидіти вільно, в зручній позі, при необхідності спираючись на підлокітники;
- нижня частина столу повинна бути сконструйована так, щоб дослідника міг зручно сидіти, не був вимушений підтискати ноги;
- поверхня столу повинна володіти властивостями, що виключають появу відблисків в полі зору;
- конструкція столу повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менше 3 для зберігання документації, канцелярських обладнань).
- висота робочої поверхні рекомендується в межах 680-760мм. Висота поверхні, на яку встановлюється клавіатура, повинна бути біля 650мм [17].

7.1.2. Електробезпека приміщення

Згідно з ДНАОПБ 0.00-1.32-01 [23], приміщення, де експлуатуються ЕОМ і ПЕОМ, належать до приміщень без підвищеної небезпеки ураження людини електричним струмом. Вимоги електробезпеки і пожежної безпеки у приміщеннях, де встановлені ВДТ ЕОМ і ПЕОМ: ЕОМ і все устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження роботи їх, електропроводи і кабелі мають відповідати електробезпеці зони за ДНАОПБ 0.00-1.32-01 та мати апаратуру захисту від струму короткого замикання.

Лінії електромережі ПК, у приміщенні виконана як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників (заземлення або занулення), причому площі перерізу нульового робочого і нульового захисного провідника повинні бути не менші за площу перерізу фазового провідника. Величина напруги цієї мережі становить 380 x 220В (фазна напруга (фаза – «0») – 220В, а міжфазна лінійна (фаза

– фаза) – 380В). Категорія умов з безпеки електротравматизму – без підвищеної безпеки [22].

Електромережі для під'єднання ВДТ, ЕОМ і ПЕОМ оснащені штепсельними з'єднаннями та електророзетками, які, крім контактів фазового і нульового робочого провідників, мають спеціальні контакти для під'єднання нульового захисного провідника, що під'єднаний раніше ніж вони. Порядок роз'єднання при відімкненні мережі має бути зворотним.

Електромережі штепсельних з'єднань та електричних розеток виконані за магістральною схемою, по 3-6 в одному колі. Оскільки вони розташовані уздовж стін, то провідники прокладені по підлозі в металевих трубах і гнучких металевих рукавах. Металеві трубки і гнучкі металеві рукави заземлені.

Для запобігання електротравмам у приміщенні здійснюються:

- 1) ізоляція нормально струмоведучих елементів електроустаткування відповідно з вимогами нормативів;
- 2) захисне заземлення;
- 3) дотримання протипожежного режиму щодо експлуатації електрообладнання.

7.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

7.2.1. Мікроклімат

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [19] мікроклімат виробничих приміщень – умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення.

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничого приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року.

Робота розробника методів синхронізації в безпроводових сенсорних мережах за енерговитратами відноситься до категорії 1 а [15].

Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а наведені в табл.2.1.

Таблиця 7.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено система опалення та система вентиляції. Раз за зміну здійснюється вологе прибирання та за необхідності – провітрювання через вікна та двері.

7.2.2. Склад повітря робочої зони

В сучасній техніці застосовується безліч речовин, які можуть потрапляти в повітря і становити небезпеку здоров'ю людей. Для визначення небезпечності досліджується вплив цих речовин на організм людини і встановлюються безпечні для людини концентрації та дози.

В приміщенні, де здійснюється розробка методів синхронізації в безпроводових сенсорних мережах можлива підвищена концентрація пилу та озону. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні (за нормами ДСН 3.3.6.042-99 [19]), наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 7.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Для гігієнічної оцінки повітря, крім хімічного складу, має значення й іонний склад повітря. Чим чистіше повітря, тим більше воно містить легких від'ємних іонів. Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.7.2.3).

Таблиця 7.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції, регулярного провітрювання, та вологого прибирання.

7.2.3. Виробниче освітлення

Виробниче освітлення призначене для забезпечення виробничого процесу, переміщення людей, руху транспорту і є обов'язковим для всіх виробничих приміщень.

Природне освітлення на даному робочому місці є бічне одностороннє.

Сучасні норми визначають, що мінімальна освітленість встановлюється за характеристикою зорової роботи з найменшим розміром об'єкта розрізнення, контрастом об'єкта із фоном і характеристикою фону.

Нормованим параметром природного освітлення являється коефіцієнт природного освітлення (КПО). КПО встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III поясу світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 7.2.5:

Таблиця 7.2.5 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_v , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє Бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Вимоги, які ставляться до раціонального освітлення: достатня освітленість робочого місця (нормована); рівномірне освітлення; відсутність тіней, особливо рухомих, на робочій поверхні; захист від сліпучої дії джерела світла.

В приміщенні використовуються світильники світлодіодні врізні. Кожен світильник комплектується світлодіодною стрічкою.

7.2.4. Виробничий шум

Шум на робочому місці розробника методів синхронізації в безпроводових сенсорних мережах виникає під час роботи системних блоків, принтерів, сканерів, обладнання для кондиціонування повітря, а також вентиляторів систем охолодження і трансформаторів.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в ДСН 3.3.6.037-99 [18]. Для умов виконання роботи (характер робіт і характер шуму) допустимі рівні звукового тиску повинні відповідати ГС, а рівні звуку не повинні перевищувати 50 дБА - дивись таблицю 7.2.5.

Таблиця 7.2.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкосмугового шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму (поліпшення шумового клімату) в приміщенні доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням.

7.2.5. Виробничі випромінювання

ПК під час роботи випромінює електромагнітну енергію, відповідно розробник піддається впливу електромагнітних полів з високочастотним випромінюванням. Інтенсивність електромагнітного поля нормується відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007-98 [17] і оцінюється на робочому місці напруженістю електричного поля (у В/м) для електричної складової і напруженістю магнітного поля (у А/м) для магнітної складової. Допустимі значення параметрів електромагнітних випромінювань від монітору комп'ютера представлені в табл. 7.2.6.

Таблиця 7.2.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати:	для дорослих користувачів 20кВ/м для дітей 15кВ/м

У відповідності до вимог і захисту від електромагнітних і електростатичних полів, допускається застосування екранних фільтрів і інших засобів індивідуальної захисту, які мають відповідний гігієнічний сертифікат. Крім того, доцільно дотримуватися рекомендованого режиму роботи за ПК.

7.2.6. Психофізіологічні фактори

При організації праці, пов'язаної з використанням ПК, для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і підтримки працездатності передбачаються внутрішньозмінні регламентовані перерви для відпочинку.

Внутрішньозмінні режими праці і відпочинку містять додаткові нетривалі перерви в періоди, що передують появі об'єктивних і суб'єктивних ознак стомлення і зниження працездатності.

При виконанні робіт, що належать до різних видів трудової діяльності, за основну роботу з ВДТ слід вважати таку, що займає не менше 50% робочого часу. Впродовж робочої зміни мають передбачатися:

- перерви для відпочинку і вживання їжі (обідні перерви);
- перерви для відпочинку і особистих потреб (згідно з трудовими нормами);
- додаткові перерви, що вводяться для окремих професій з урахуванням особливостей трудової діяльності.

7.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи безпроводових сенсорних мереж в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Джерелом іонізуючого випромінювання є об'єкт, що містить радіоактивний матеріал, або технічний пристрій, що випускає або здатний (за певних умов) випускати іонізуюче випромінювання.

Сучасні ядерно-технічні установки зазвичай є складними джерелами випромінювань. Наприклад, джерелами випромінювань того, що діючого ядерного реактора, окрім активної зони, є система охолодження конструкційні матеріали, устаткування і ін. Поле випромінювання таких реальних складних джерел зазвичай представляється як суперпозиція полів випромінювання окремих, більш елементарних джерел.

Джерелами іонізуючих випромінювань є радіоактивних елементи і їх ізопопи, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок та ін. Рентгенівські установки і високовольтні джерела постійного струму відносяться до джерел рентгенівського випромінювання.

В елементній базі електричних та електронних систем під дією іонізуючих випромінювань можлива зміна майже всіх електричних і експлуатаційних характеристик, що залежить від протікання процесів іонізації і порушення структури матеріалів. Практика експлуатації таких систем в умовах радіоактивних випромінювань дозволяє зробити висновки про те, що мережі миттєво втрачають працездатність при критичних рівнях радіації, або ж в їх елементах можуть початися відновлювані (невідновлювані) зміни через деякий час після радіоактивного зараження при рівнях значно нижчих від критичних.

Стосовно електромагнітних випромінювань варто сказати, що навіть короткочасне електромагнітне випромінювання великої потужності, здатне вивести з ладу радіоелектронні пристрої, складові основу будь-якої інформаційної мережі. Елементна база радіоелектронних пристроїв вельми чутлива до енергетичних перевантажень, потік електромагнітної енергії достатньо високої щільності здатний випалити напівпровідникові переходи, повністю або частково

порушивши їх нормальне функціонування. Як відомо, напруга пробою переходів невисока і складають від одиниць до десятків вольт залежно від типу приладу. Так, навіть у кремнієвих прецизійних біполярних транзисторів, що володіють підвищеною міцністю до перегрівів, напруга пробою знаходиться в межах від 15 до 65 В, а у арсенідгаллієвих приладів цей поріг рівний 10 В. Запам'ятовуючі пристрої, що складають частину будь-якого комп'ютера, мають порогову напругу порядку 7 В. Типові логічні інформаційні мережі на МОН-структурах - від 7 до 15 В, а мікропроцесори зазвичай припиняють свою роботу при напрузі 3,3-5 В.

Крім необоротних відмов імпульсна електромагнітна дія може викликати відновлювані відмови, або паралізацію радіоелектронного пристрою, коли через виникаючі перевантаження воно на якийсь відрізок часу втрачає чутливість. Можливі також помилкові спрацьовування чутливих елементів, що може привести, наприклад, до детонації різних видів зброї. За спектральними характеристиках ЕМВ можна розділити на два види: низькочастотне, таке, що створює електромагнітне імпульсне випромінювання на частотах нижче 1 МГц, і високочастотне, таке, що забезпечує випромінювання СВЧ-діапазону. Обидва види ЕМВ мають відмінності також в способах реалізації і в якійсь мірі в шляхах дії на радіоелектронні пристрої. Так, проникнення низькочастотного електромагнітного випромінювання до елементів пристроїв обумовлене, в основному, наведеннями на дротяну інфраструктуру, що включає телефонні лінії, кабелі зовнішнього живлення, подачі і знімання інформації. Шляхи ж проникнення електромагнітного імпульсу широкі - вони ще включають пряме проникнення в радіоелектронну апаратуру через антенну систему, оскільки СВЧ-спектр охоплює і робочу частоту пригнічуваної апаратури. Проникнення енергії через конструктивні отвори і стики залежить від їх розмірів і довжини хвилі електромагнітного імпульсу - найбільш сильний зв'язок виникає на резонансних частотах, коли геометричні розміри співрозмірні з довжиною хвилі. На хвилях, довших за резонансні, зв'язок різко зменшується, тому дія низькочастотного ЕМІ, що залежить від наведень через отвори і стики в корпусі апаратури, невелика. На частотах же вище резонансних

спад зв'язку відбувається повільніше, але через безліч типів коливань в об'ємі апаратури виникають гострі резонанси.

7.3.1 Дослідження безпеки роботи безпроводових сенсорних мереж в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм, що дозволяє оцінити безпеку роботи безпроводових сенсорних мереж в умовах дії іонізуючих випромінювань, є максимальне значення потужності дози, яка може зумовити виникнення змін в його елементній базі, не порушуючи працездатність в цілому.

Аналіз структури мережі показує, що елементами, без яких неможливе її нормальне функціонування, є блок живлення та модеми для підключення.

Граничні дози іонізуючих випромінювань для елементів безпроводових сенсорних мереж наведені в табл. 7.3.1.

Таблиця 7.3.1 – Граничні дози іонізуючих випромінювань для елементів безпроводових сенсорних мереж

Блоки	Елементи модулятора	Граничні дози гама-випромінювання елементів $D_{i\text{гр}}, \text{P}$	Гранична доза гама-випромінювання елементів $D_{\text{гр}}, \text{P}$
Блок живлення	АТХ-650W	10^7	10^4
Модеми	ZyXEL	10^4	
	D-LINK	10^6	
	TP-LINK	10^5	

За мінімальним значенням визначається границя безпеки роботи мережі в цілому, тобто $D_{\text{гр}} = 10^4 \text{ P}$.

Можлива доза опромінення мережі протягом експлуатації в заданих умовах визначається за формулою:

$$D_m = \frac{2 \cdot P_1 \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{\text{посл. буд.}}}, \quad (7.3.1)$$

де P_1 – рівень радіації в умовах експлуатації ($P_1 = 15,5$ Р/год);

t_k – час закінчення експлуатації ($t_k = 117000$ год);

t_n – час початку експлуатації ($t_n = 1$ год);

$K_{\text{посл. буд.}}$ – коефіцієнт послаблення будівлі ($K_{\text{посл. буд.}} = 4$).

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$D_m = 2 \cdot 15,5 \cdot \left(\frac{\sqrt{117000} - \sqrt{1}}{4} \right) \approx 2643 \text{ (Р)}.$$

Визначаємо допустимий час роботи мережі за виразом:

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{D_{\text{зр}} \cdot K_{\text{посл. буд.}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{t_n}}{2 \cdot P_1} \right)^2. \quad (7.3.2)$$

Обчислимо допустимий час роботи мережі за формулою (7.3.2):

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{2643 \cdot 4 + 2 \cdot 15,5 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 15,5} \right)^2 \approx 116986 \text{ (год)}.$$

Оскільки $D_{\text{зр}} > D_m$ ($10000 \text{ Р} > 2643 \text{ Р}$), то робота мережі в умовах дії радіаційного випромінювання є безпечною, вживати заходи щодо підвищення безпеки роботи мережі немає потреби.

7.3.2 Дослідження безпеки роботи безпроводових сенсорних мереж в умовах дії електромагнітного імпульсу

За критерій стійкості роботи мережі приймається коефіцієнт безпеки:

$$K_{\sigma(\vartheta, z)} = 20 \lg \frac{U_{\text{дон}}}{U_{(\vartheta, z)}}, \quad (7.3.3)$$

де $U_{\sigma(z)}$ – напруга наведення у вертикальних і горизонтальних частинах напруженості $E_{\sigma(z)}$;

$U_{\text{дон}}$ – допустима напруга живлення, що розраховується за виразом:

$$U_{\text{дон}} = U_{\text{жс}} + \frac{U_{\text{жс}}}{100} \cdot N, \quad (7.3.4)$$

де $U_{\text{жс}}$ – напруга живлення ($U_{\text{жс}} = 5 \text{ В}$);

N – допустиме відхилення напруги ($N = 15 \%$).

Обчислимо допустиму напругу живлення, за формулою (7.3.4):

$$U_{\text{дон}} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 15 = 5,75 \text{ (В)}.$$

Безпечною робота мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу буде у випадку, коли $K_{\sigma} \geq 40$ (дБ).

Проведемо розрахунок окремо для вертикальних і горизонтальних струмопровідних частин.

Горизонтальна складова напруженості визначається за формулою:

$$E_z = E_{\sigma} \cdot 10^{-3}, \quad (7.3.5)$$

де E_{σ} – вертикальна складова напруженості ($E_{\sigma} = 2,1 \text{ В/м}$).

Підставивши чисельні значення, отримаємо:

$$E_z = 2,1 \cdot 10^{-3} = 0,0021 \text{ (В)}.$$

Максимальні довжини вертикальних і горизонтальних струмопровідних частин в пристрої відповідно складають $l_g = 0,01$ м і $l_z = 0,03$ м. Максимальні напруги наведення у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах обчислюються за виразом:

$$U_{g(z)} = E_{z(g)} \cdot l_{g(z)}. \quad (7.3.6)$$

Розрахуємо максимальні напруги наведення за формулою (5.9):

$$U_g = 0,0021 \cdot 0,01 = 0,000021 \text{ (В)},$$

$$U_z = 2,1 \cdot 0,03 = 0,063 \text{ (В)}.$$

Обчислимо коефіцієнти безпеки за кожною з напруг наведення:

$$K_{g(g)} = 20 \lg \frac{5,75}{0,000021} \approx 143 \text{ (дБ)},$$

$$K_{g(z)} = 20 \lg \frac{5,75}{0,063} \approx 45,4 \text{ (дБ)}.$$

Оскільки значення коефіцієнтів безпеки за вертикальною і горизонтальною напругами наведення відповідають критеріям стійкості, то додаткові засоби захисту мережі від дії електромагнітного імпульсу не застосовуються.

7.3.7 Розробка заходів захисту безпроводових сенсорних мереж від дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Характер дії іонізуючих випромінювань на елементну базу електронних пристроїв та систем розглянуто в першому підрозділі. Оскільки стовідсотково запобігти можливість їх впливу на обладнання неможливо, то необхідним є

введення в дію заходів захисту, які якщо не усунуть можливі наслідки взагалі, то принаймні зменшать їх масштаби.

Ефективним заходом захисту електронної техніки від іонізуючих випромінювань може стати екранування покриттями чи безпосередньо різними екранами, що екранують високочастотні і низькочастотні випромінювання працюючих вузлів і блоків, оскільки практично всі матеріали мають певну поглинальну здатність при дії радіації. Ці ж заходи можуть бути ефективними і для захисту від дії електромагнітного імпульсу.

Крім того, для захисту мережі для прийому відеосигналів можна вжити такі заходи:

- використання в апаратурі стійких до радіації елементів і матеріалів;
- застосування різних загальних екранів за рахунок будівельних конструкцій та оздоблення;
- застосування активного захисту від дії радіації;
- використання схем малочутливих до зміни електричних параметрів;
- зменшення чутливості перемикальних схем до зміни вхідних сигналів і напруг джерел живлення;
- зниження напруги живлення до мінімально необхідної для функціонування приладу;
- застосування пристроїв та елементів схем, що вимикають радіотехнічні схеми на час дії радіації або стрибків напруги, яка може також бути наведена електромагнітним імпульсом;
- збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням, або додаткова їх ізоляція і зменшення довжини струмопровідних частин обладнання та ін.

Узагальнюючи розділ слід зазначити, що основною метою даної частини розділу було дослідження безпеки роботи безпроводових сенсорних мереж та розробка заходів по підвищенню їх стійкості роботи в умовах НС.

В ході виконання було розглянуто вплив іонізуючого та електромагнітного випромінювання на компоненти схеми, виконано розрахунок дози опромінення

кожного класу комплектуючих, з результатів чого видно, що ні один з класів елементів схеми не зазнає більшого впливу за граничне значення, також розраховано термін безпечної роботи мережі 116986 годин. Що стосується впливу електромагнітного імпульсу, то з урахуванням необхідного рівня коефіцієнта безпеки було розраховано значення напруженості електричного поля.

З метою підвищення стійкості роботи мережі наведено основні заходи боротьби з впливом вражаючих факторів, досліджених вище. Таким чином, безпека роботи безпроводових сенсорних мереж задовольняє всім вимогам цивільного захисту до проектування такого виду комплексів.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНІТУ

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі було виконано огляд та аналіз основних протоколів та способів синхронізації в бездротових сенсорних мережах. Та основі цих даних було запропоновано новий спосіб синхронізації пристроїв в бездротових сенсорних мережах.

Таким чином в першому розділі було розглянуто топологію сенсорних мереж, їхні особливості та відмінності від класичних мереж. Функціональні пристрої мереж їх принцип роботи та функціонал які вони виконують. Особливості їхнього функціонування.

В другому розділі було розглянуто актуальність питання синхронізації часу в БСМ. Які фактори впливають на вибір розмірів датчиків які впливають на методи та способи синхронізації в БСМ.

В третьому було визначено поняття, призначення та функції годинника. Оглянуто різноманітні фактори впливу на мережу які викликають неточності в годинниках та методи боротьби з ними.

Четвертий розділ містить аналіз основних протоколів синхронізації, а саме їхні особливості, переваги та недоліки.

В п'ятому розділі було допрацьовано метод прецизійної синхронізації у БСМ за допомогою використання комбінації повільних та швидких годинників. Цей метод дозволяє підвищити енергоефективність мережі за рахунок комбінації переваг обох типів годинників..

В шостому розділі було виконано аналіз та розрахунок рівню наукового ефекту науково-дослідницької роботи, згідно з якою дана робота має високий науковий та економічний ефект.

Останній, сьомий розділ містить огляд праці зі сторони охорони праці на відповідність їх до актуальних норм праці. Також було виконано огляд розробки на шкоду даної роботи зі сторони цивільного захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернхард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.
2. В.Б. Дудикевич, Г.В. Микитин, А.І. Ребець, М.В. Мельник. БЕЗПРОВІДНІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ZIGBEE, WI-FI ТА BLUETOOTH В КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ: КОНЦЕПЦІЯ “ОБ’ЄКТ – ЗАГРОЗА – ЗАХИСТ” НА ОСНОВІ МОДЕЛІ OSI. Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2019.
3. Л.Г. Когельман ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ, Россия, г. Пенза, Пензенский государственный технологический университет
4. Олександр М.Б., Балабан С.М., Карпінський М.П., Райба С.А., Чиж В.М. Інформаційна безпека в середовищі безпроводових сенсорних мереж, Тернопіль 2016р
5. Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.
6. Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.
7. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.
8. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
9. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романычевой.- М: Радио и связь, 1989.

10. Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.
11. <https://compress.ru/article.aspx?id=17950>
12. Олександр М.Б., Балабан С.М., Карпінський М.П., Райба С.А., Чиж В.М. Інформаційна безпека в середовищі безпроводових сенсорних мереж, Тернопіль 2016р.
13. Синявіна Є.П. СИНХРОНІЗАЦІЯ ЧАСУ В БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ, 2021 р.
14. <https://ru.wikipedia.org/wiki/TinyOS>
15. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>
16. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
17. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ЕОМ - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/derz-nor4881.html>
18. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
19. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
20. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № **2694-ХІІ**- [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
21. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php
22. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] -

Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

23. ДНАОПБ 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок та електрообладнання. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://aer.net.ua/public/files/OSBB/zakonodavctvo/INSCE/DNAOP%200.00-1.32-01..pdf>

24. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,
докт. техн. наук, професор
В.М. Кичак
“ _ ” _____ 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
МЕТОДИ СИНХРОНІЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ
МЕРЕЖАХ
08-34.МКР.012.00.000 ТЗ

Керівник роботи
к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ
Семенова О.О.

Виконавець: ст. гр. ТКС-20м
Ходацький Д.Л.

Вінниця-2021

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “24” 09 2021 року № 277 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 01.09.2021 р.

Дата закінчення: 20.12.2021 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є розроблення теоретичних викладок про новий метод синхронізації в бездротових сенсорних мережах.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- аналіз методів синхронізації в бездротових сенсорних мережах;
- аналіз основних недоліків та переваг методів синхронізації в бездротових сенсорних мережах;
- розроблення теоретичних викладок що до нового методу синхронізації в бездротових сенсорних мережах;

Об'єктом дослідження є методи синхронізації в бездротових сенсорних мережах.

Предметом дослідження є методи синхронізації.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- аналіз методів синхронізації в бездротових сенсорних мережах;
- розробка теоретичних викладок по впровадженню нового методу синхронізації в бездротових сенсорних мережах;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Розроблені в ході виконання викладки дозволять підвищити ефективність бездротових сенсорних мереж, їх енергоефективність та стабільність, Дозволять впроваджувати нові мережі з більшою швидкістю та економічною вигодою.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Список використаних джерел розробки:

3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.

3.2 В.Б. Дудикевич, Г.В. Микитин, А.І. Ребець, М.В. Мельник. БЕЗПРОВІДНІ СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ ZIGBEE, WI-FI ТА BLUETOOTH В КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ: КОНЦЕПЦІЯ “ОБ’ЄКТ – ЗАГРОЗА – ЗАХИСТ” НА ОСНОВІ МОДЕЛІ OSI. Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2019

3.3 Л.Г. Когельман ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ, Россия, г. Пенза, Пензенский государственный технологический университет

3.4 Олександр М.Б., Балабан С.М., Карпінський М.П., Райба С.А., Чиж В.М. Інформаційна безпека в середовищі безпроводових сенсорних мереж, Тернопіль 2016р.

3.5 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.

3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романьчевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.10 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТКС-21м Ходацький Д.Л.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методів синхронізації в бездротових сенсорних мережах.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- Кількість мотив: від 2 до 100 шт;
- Робочі частоти: 915 МГц та 2.4 ГГц;
- Швидкість передачі інформації: від 20 кбіт/с до 250 кбіт/с;
- Час автономної роботи: від 1 року без заміни джерела живлення;
- Дальність зв'язку: від 1м до 1500 м:
- централізована чи децентралізована синхронізація;
- плавна синхронізація годинників;
- енергоефективність синхронізації;
- можливість роботи зі системами які вже введенні в роботу.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	01.09.2021р.	10.09.2021р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО)	11.09.2021р.	17.09.2021р.	Розроблене ТЕО	Вступ. Розділ 1.
3.	Аналіз методів синхронізації	18.09.2021р.	01.10.2021р.	Проведений аналіз	Розділ 2
4.	Аналіз способів синхронізації	02.10.2021р.	29.10.2021р.	Розроблений метод	Розділ 3
5.	Розроблення нового методу синхронізації	30.10.2021р.	19.11.2021р.	Характеристики і параметри	Розділ 4
6.	Аналіз економічної ефективності	20.11.2021р.	30.11.2021р.	Економічна частина МКР	Розділ 5
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.12.2021р.	06.12.2021р.	Частина ОП та БНС	Розділ 6
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	07.12.2021р.	13.12.2021р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, опонування МКР	14.12. 2021р.	17.12.2021р.	Позитивні відзиви	Відгуки
10.	Захист МКР ЕК		20.12.2021р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- метод синхронізації в бездротових сенсорних мережах;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленого методу синхронізації.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження широкосмугового ІКМ;

- ПАТ “Укртелеком” шляхом впровадження нових методик контролю характеристик ІКМ.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення точності синхронізації та підвищення енергоефективності системи.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- огляд наявних методів синхронізації;
- пропозицію щодо покращення наявних методів або новий метод синхронізації;

- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання приладу.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

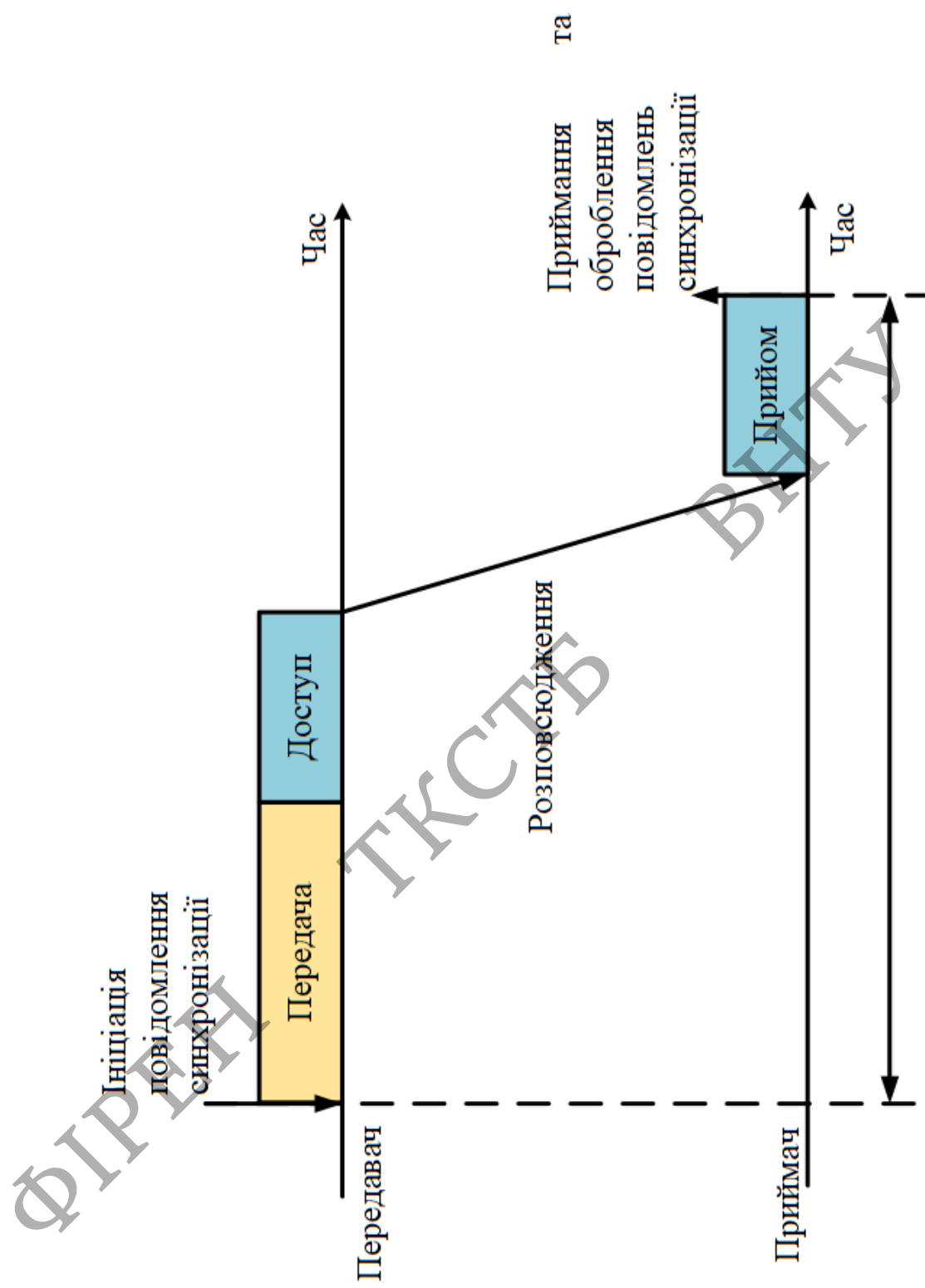
ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)

Затримка при передачі повідомлення синхронізації



08-34.МКР.012.00.000 Е8

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Ходацький Д.Л.		
Перевір.		Семенова О.О.		
Т. Контр.				
Реценз.				
Н. Контр.		Семенова О.О.		
Затверд.		Кичак В.М.		

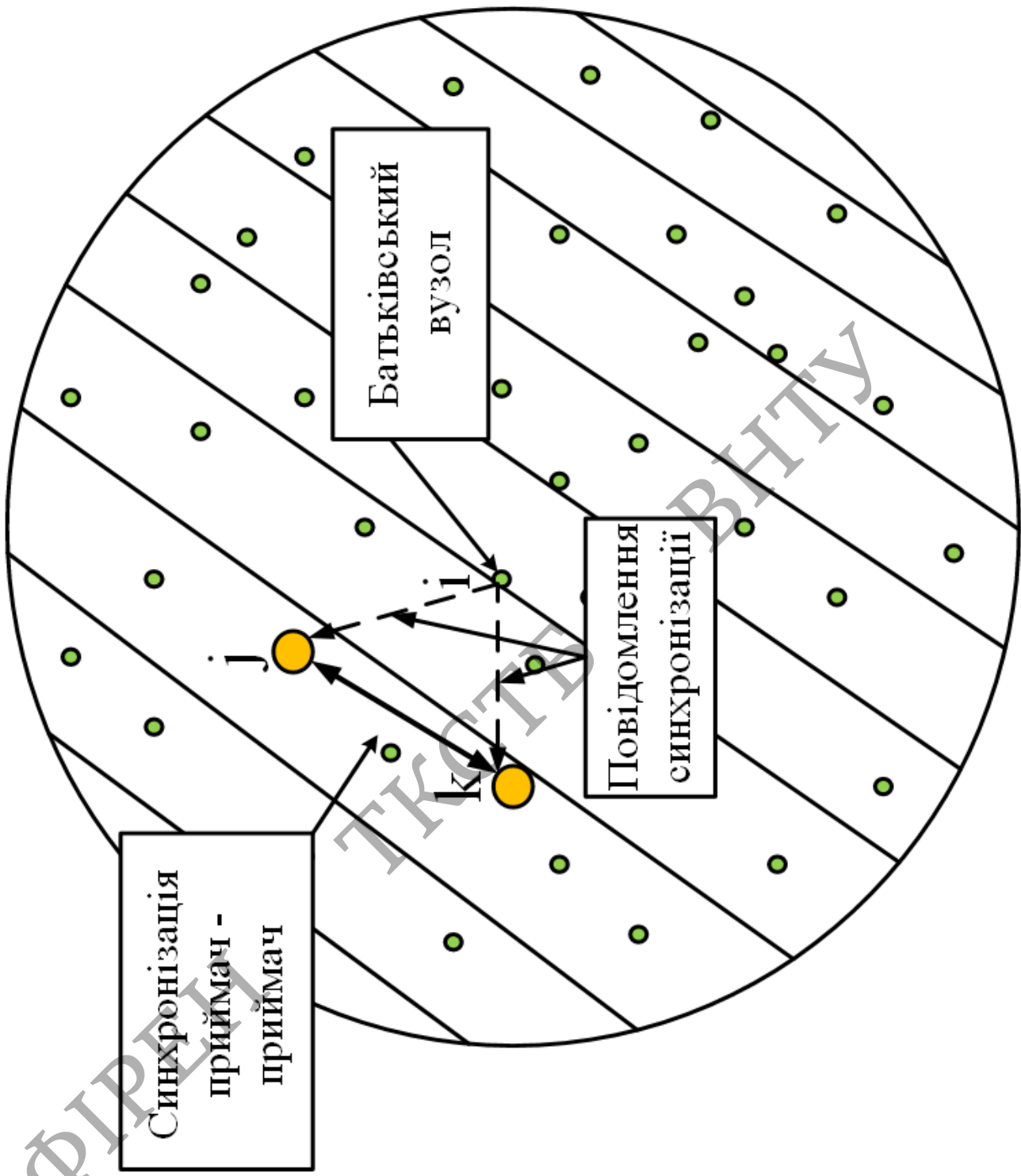
Затримка при передачі повідомлення синхронізації

Літ.	Маса	Масштаб
Арк.	1	Аркушів 1

ВНТУ, ТКС-20м

ДОДАТОК В
(обов'язковий)

Синхронізація типу «приймач – приймач»



					08-34.МКР.012.00.000 Е8				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Синхронізація типу «приймач- приймач»	Лім.	Маса	Масштаб	
Розроб.		Ходацький Д.Л							
Перевір.		Семенова О.О.							
Т. Контр.						Арк.	1	Аркушів	1
Реценз.									
Н. Контр.		Семенова О.О.			ВНТУ, ТКС-20м				
Затверд.		Кичак В.М.							

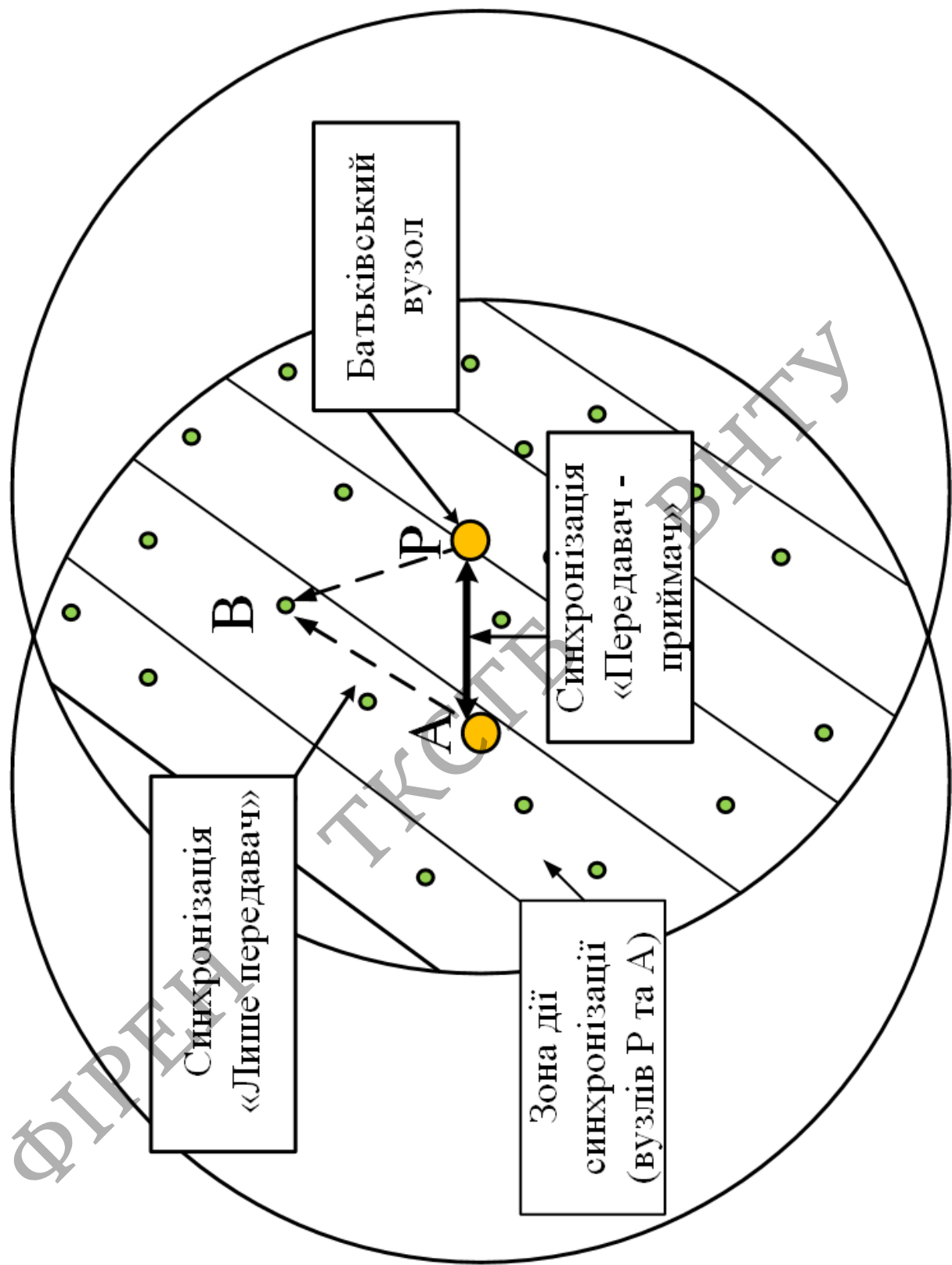
ДОДАТОК Г
(обов'язковий)

Модель синхронізації для ROS та SRS

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ

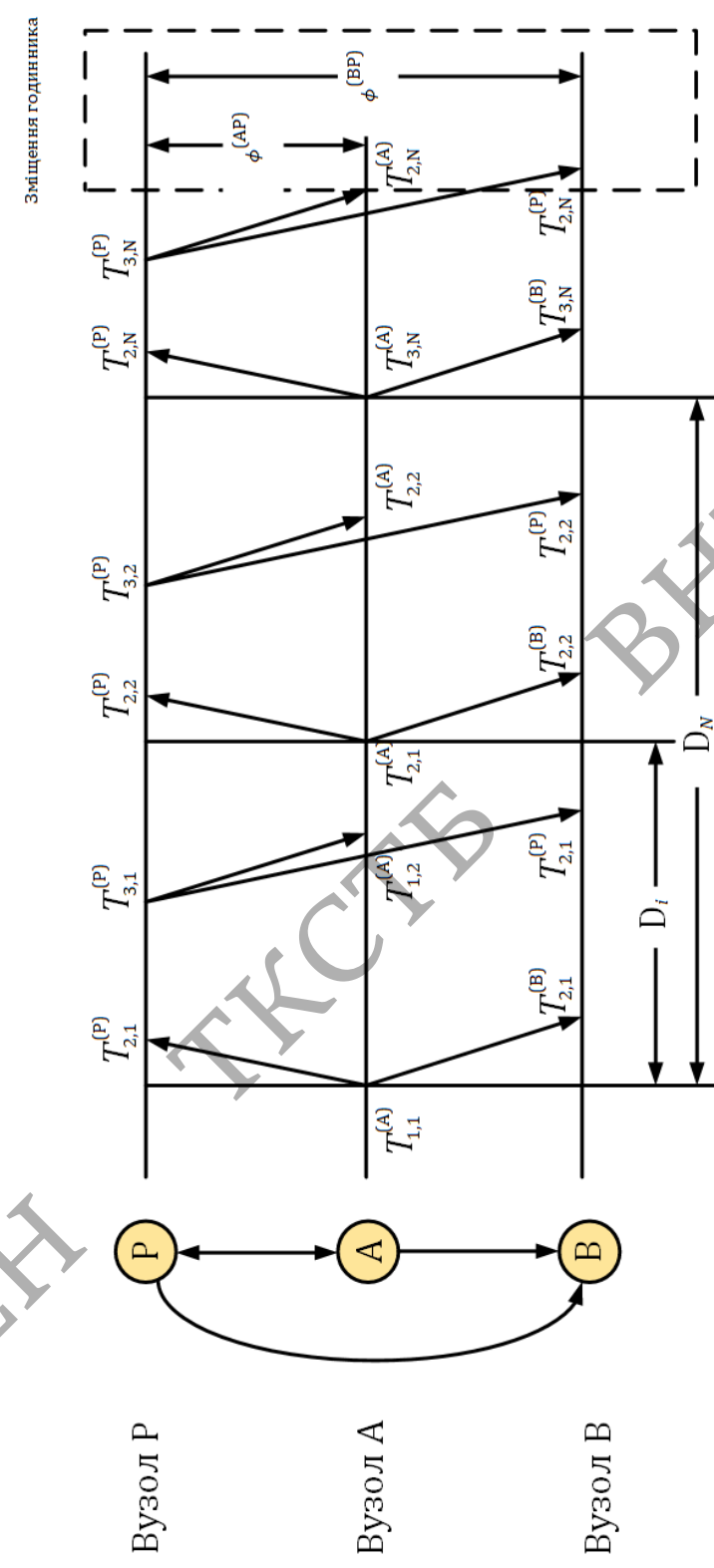


					08-34.МКР.012.00.000 Е8			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Модель синхронізації для ROS та SRS			
Розроб.	Ходацький Д.Л							
Перевір.	Семенова О.О.							
Т. Контр.								
Реценз.								
Н. Контр.	Семенова О.О.				Літ.	Маса	Масштаб	
Затверд.	Кичак В.М.				Арк.	1	Аркушів	1
					ВНТУ, ТКС-20м			

ДОДАТОК Д
(обов'язковий)

Обмін повідомленнями в ROS та SRS синхронізації

ФІРЕН



ВНТУ

					08-34.МКР.012.00.000 Е8				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Обмін повідомленнями в ROS та SRS синхронізації	Літ.	Маса	Масштаб	
Розроб.		Хоцацький Д.Л							
Перевір.		Семенова О.О.							
Т. Контр.						Арк.	1	Аркушів	1
Реценз.						ВНТУ, ТКС-20м			
Н. Контр.		Семенова О.О.							
Затверд.		Кичак В.М.							

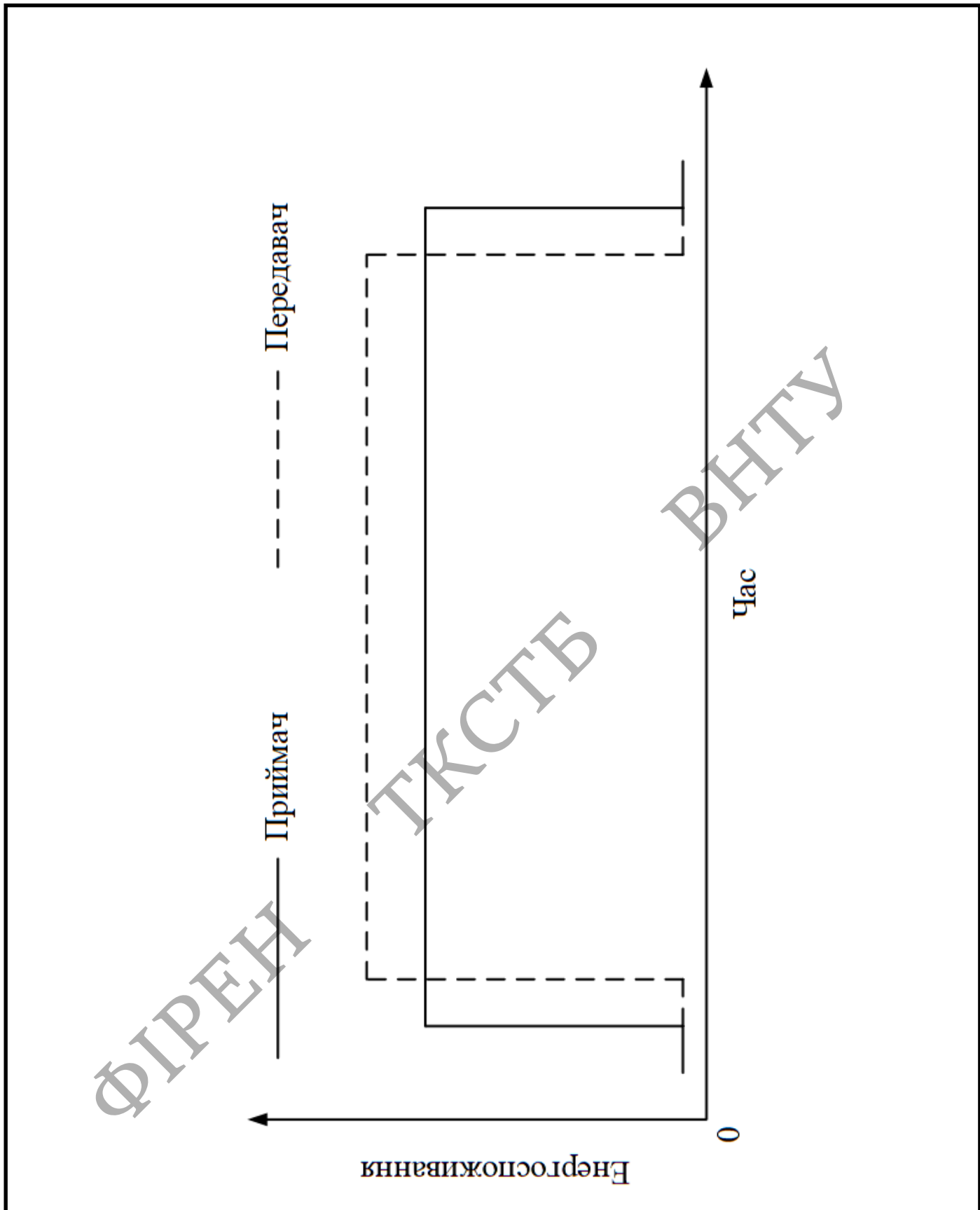
ДОДАТОК Е
(обов'язковий)

Успішний сеанс зв'язку

ФІРЕН

ТКСТБ

ВНТУ



					08-34.МКР.012.00.000 Е8			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Успішний сеанс зв'язку	<i>Лім.</i>	<i>Маса</i>	<i>Масштаб</i>
Розроб.		Ходацький Д.Л						
Перевір.		Семенова О.О.						
Т. Контр.						Арк. 1	Аркушів 1	
Реценз.								
Н. Контр.		Семенова О.О.			ВНТУ, ТКС-20м			
Затверд.		Кичак В.М.						

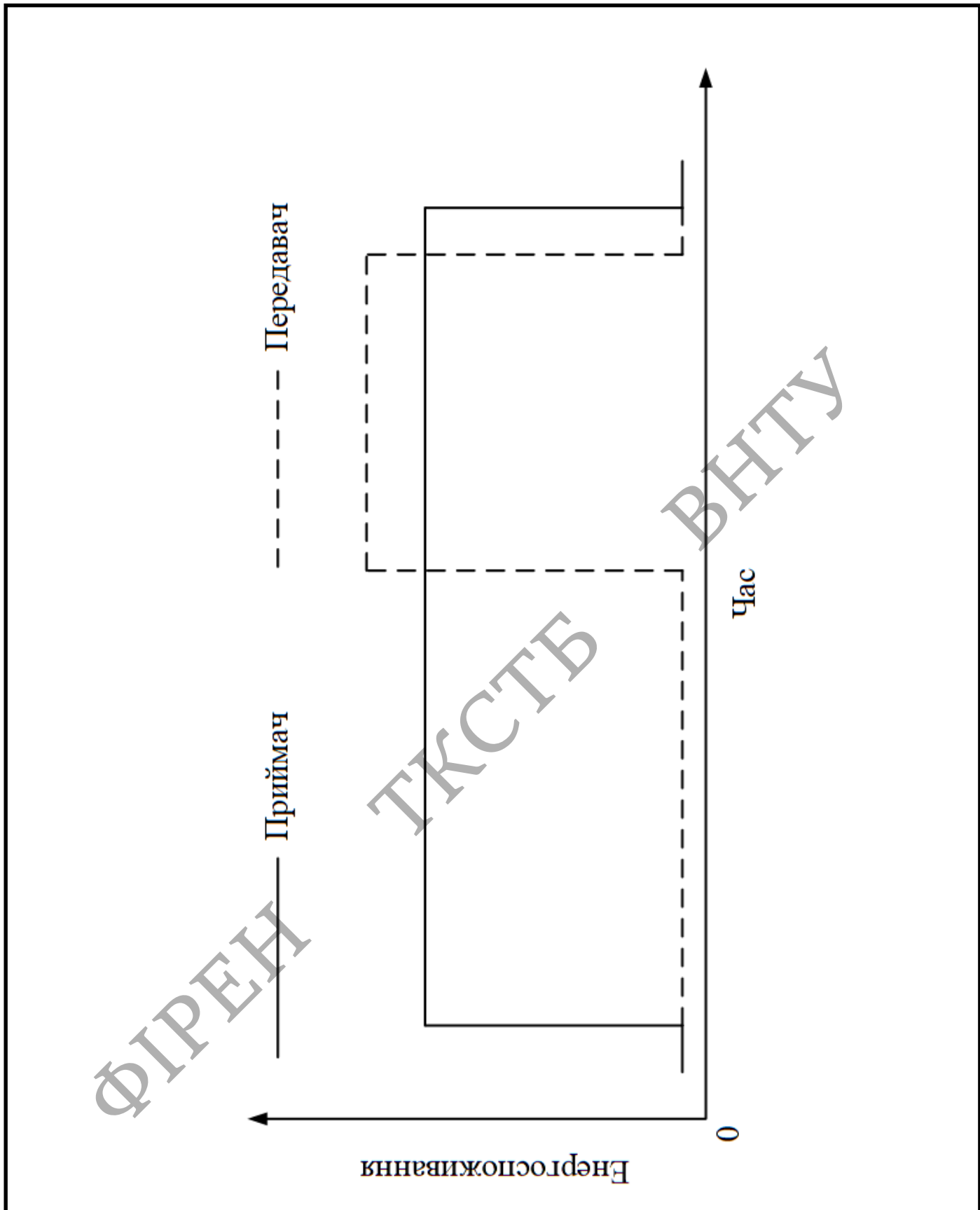
ДОДАТОК Ж
(обов'язковий)

Неефективний сеанс зв'язку

ФІРЕН

ТКСГБ

ВНТУ



					08-34.МКР.012.00.000 Е8			
					Неефективний сеанс зв'язку	Лім.	Маса	Масштаб
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ходацький Д.Л						
Перевір.		Семенова О.О.						
Т. Контр.					Арк.	1	Аркуші	1
Реценз.					ВНТУ, ТКС-20м			
Н. Контр.		Семенова О.О.						
Затверд.		Кичак В.М.						