

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП – 19.00.00.000 ПЗ

Група АКП -21-1

Дмитро Сімора

2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Сімора Дмитро Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 685.1:544.54:546.11/.12

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Удосконалення місцевої автоматизованої системи

(назва роботи)

централізованого оповіщення

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Д.М.Сімора

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

М. В. Шавранський

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.Я.Чигур

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151-Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

А.І.Лагойда

202__ року

З А В Д А Н Н Я **НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Сіморі Дмитру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення місцевої автоматичної системи

централізованого оповіщення

керівник роботи Шавранський Михайло Васильович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 07 » 05 20 25 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи

13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи матеріали практики, технологічний регламент

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

4.1. Аналіз технологічного процесу оповіщення як об'єкта автоматичного контролю і керування

4.2. Характеристика об'єкта керування в МАСЦО

4.3. Синтез і аналіз системи автоматичного керування

4.4 Проектна складова автоматизованої системи

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

Лист 1 – Автоматизоване робоче місце АРМ (WS.WA-B). Схема з'єднань зовнішніх проводок. – БР.АКП – 12.00.00.001

Лист 2 – Базова станція оповіщення WBS.WA-400-B . Схема з'єднань зовнішніх проводок. – БР.АКП – 12.00.00.002

Лист 3 – Базова станція оповіщення WBS.WA-800-B .Схема з'єднань зовнішніх проводок. . – БР.АКП – 12.00.00.003

Лист 4 – Функціональна схема. – БР.АКП – 12.00.00.004

Лист 5 – Ситуаційний план м. Галич. – БР.АКП – 12.00.00.005

Лист 6 – Ситуаційний план с-ще. Залуква. – БР.АКП – 12.00.00.006

Лист 7 – Ситуаційний план с-ще. Шевченкове. – БР.АКП – 12.00.00.007

Лист 8 – Ситуаційний план с-ще. Крилос – БР.АКП – 12.00.00.008

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу оповіщення як об'єкта автоматичного контролю і керування	13.05.2025 р.	Виконано
2	Характеристика об'єкта керування в МАСЦО	18.05.2025 р.	Виконано
3	Синтез і аналіз системи автоматичного керування	27.05.2025 р.	Виконано
4	Проектна складова автоматизованої системи	02.06.2025 р.	Виконано
5	Висновки по роботі	12.06.2025 р.	Виконано

Студент _____
(підпис)

Д.М. Сімора
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

М.В.Шавранський
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 62 сторінок, 13 рисунків, 1 таблиць, 10 джерел.

Тема: «Удосконалення місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення»

Об'єкт дослідження: процес автоматизованого централізованого оповіщення населення в умовах територіальної громади.

Мета роботи: розробка ефективної, надійної та масштабованої місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) для Галицької територіальної громади Івано-Франківської області з використанням сучасних технічних засобів.

Методи дослідження: у роботі застосовано системний підхід до аналізу структури та функціонування об'єкта керування, математичне моделювання динамічних властивостей підсилювальних трактів і гучномовців, методи аналізу стійкості та якісних показників системи керування, а також інженерне проєктування функціональних і монтажних схем. Проведено експериментальні вимірювання характеристик гучномовців і розрахунки зон покриття та ефективності оповіщення.

Результати кваліфікаційної роботи: розроблено проєкт впровадження МАСЦО в окремих населених пунктах Галицької громади. Визначено оптимальні технічні засоби: базові станції оповіщення, акустичні гучномовці, контролери та джерела живлення. Побудовано функціональну та монтажну схеми системи. Здійснено моделювання динамічних властивостей окремих елементів системи та оцінку її стійкості. Розраховано охоплення населення та складено орієнтовний кошторис реалізації. Доведено доцільність подальшого розширення системи на всю територію громади.

Ключові слова: централізоване оповіщення, МАСЦО, БСО, АРМ, автоматизація, моделювання, система керування, стійкість, гучномовець, сигнал, громада.

ABSTRACT

Bachelor's thesis contains: 62 pages, 13 figures, 1 tables, 10 sources.

Topic: " Improvement of the local automated centralised warning system"

Object of research: the process of automated centralised warning of the population in a territorial community.

Purpose of work: to develop an effective, reliable and scalable local automated centralised warning system (LCWS) for the Halych territorial community of Ivano-Frankivsk region using modern technical means.

Research methods: The study applied a systematic approach to analysing the structure and functioning of the control object, mathematical modelling of the dynamic properties of amplifying paths and loudspeakers, methods of analysing the stability and quality indicators of the control system, as well as engineering design of functional and installation circuits. Experimental measurements of loudspeaker characteristics and calculations of coverage areas and warning efficiency were carried out.

Results of the qualification work: a project for the implementation of MASCO in selected settlements of the Halychyna community has been developed. The optimal technical means were identified: base warning stations, acoustic loudspeakers, controllers and power supplies. Functional and wiring diagrams of the system were developed. The dynamic properties of individual elements of the system were modelled and its stability was assessed. The coverage of the population was calculated and an indicative estimate of implementation was made. The expediency of further expansion of the system to the entire territory of the community is proved.

Keywords: centralised warning, MASCO, BSO, workstation, automation, modelling, control system, stability, loudspeaker, signal, community.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОПОВІЩЕННЯ ЯК ОБ’ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....	11
1.1 Призначення системи та суть процесу	11
1.2 Аналіз архітектури існуючих систем оповіщення	12
1.3 Технічна характеристика типового обладнання МАСЦО	14
1.4 Вибір параметрів контролю й керування в системі оповіщення.....	22
Висновки до розділу.....	24
2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОПОВІЩЕННЯ ЯК ОБ’ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	26
2.1 Математичне моделювання системи оповіщення	26
Висновки до розділу	33
3 СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	35
3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування оповіщенням	35
3.2 Аналіз стійкості та якості керування	36
Висновки до розділу.....	41
4 ПРОЕКТНА СКЛАДОВА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	43
4.1 Вибір обладнання (БСО, АРМ, контролери, передача сигналу).....	43
4.2 Розробка функціональної схеми системи оповіщення	44
4.3 Схеми зовнішніх з’єднань, монтажна схема	47
4.4 Оцінка надійності системи	49
4.5 Експериментальні дослідження характеристик гучномовців WADL-200....	51

					БР.АКП - 19.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докумен.	Підпис	Дата				
Розроб.		Сімора Д.М.			Удосконалення місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Шавранський М.В				6	61	
Реценз.		Чигур Л.Я.				АКП-21-1, ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В						
Затверд.		Лагойда А.І.						

4.6 Приблизний кошторис реалізації МАСЦО	55
4.7 Оцінка охоплення населення системою оповіщення.....	56
4.8 Можливості подальшого розвитку.....	57
Висновки до розділу	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	62

					БРЕВІАКП199000000013	Арк.
Змін.	Арж.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

МАСЦО – Місцева автоматизована система централізованого оповіщення

ТАСЦО – Територіальна автоматизована система централізованого оповіщення

АСЦО – Автоматизована система централізованого оповіщення

БСО – Базова станція оповіщення

АРМ – Автоматизоване робоче місце

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика

ПХ – перехідна характеристика

САК – система автоматичного керування

СК – система керування

					БР. АКП - 19.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

У сучасних умовах, коли зростає кількість техногенних та природних загроз, своєчасне інформування населення про надзвичайні ситуації набуває особливої ваги. В умовах війни, ракетних ударів, аварій на об'єктах інфраструктури, важливим стає створення надійних та швидкодіючих систем централізованого оповіщення. Особливо гостро це питання стоїть у малих громадах, де відповідна інфраструктура або застаріла, або взагалі відсутня.

Однією з таких територій є Галицька територіальна громада Івано-Франківської області, в якій відсутні необхідні технічні засоби для централізованого автоматизованого оповіщення населення. Це створює ризики несвоєчасного інформування у разі виникнення надзвичайних ситуацій, що загрожує життю та здоров'ю мешканців. Саме тому тема дипломної роботи — розробка місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) — є надзвичайно актуальною.

Мета роботи полягає у створенні робочого проєкту МАСЦО для впровадження в умовах Галицької громади, який базується на сучасних апаратно-програмних рішеннях і адаптується під місцеву інфраструктуру. У роботі проаналізовано діючі прототипи подібних систем, зокрема приклад на основі контролерів, що вже апробований у подібних проєктах. Цей зразок використано як базу для розробки адаптованого рішення, яке відповідає специфіці даної громади.

Метою дослідження є розробка проєкту МАСЦО з акцентом на практичну реалізацію в Галицькій громаді Івано-Франківської області.

Завдання дослідження:

- дослідити існуючі типові рішення автоматизованих систем оповіщення;
- обґрунтувати вибір технічної бази для системи (контролери, модулі зв'язку, виконавчі пристрої);
- розробити електричні та структурні схеми системи;
- адаптувати систему до умов локальної інфраструктури;

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- створити комплект робочих креслень, достатніх для її реалізації.

Об'єкт дослідження — процес оповіщення населення у випадку надзвичайної ситуації.

Предмет дослідження — технічна реалізація автоматизованої системи оповіщення на місцевому рівні.

Методи дослідження включають аналіз сучасних технічних рішень, проектування електричних схем, компоновку елементів системи з урахуванням практичного впровадження, розробку монтажних креслень, логічне сценарне моделювання.

Практична цінність роботи полягає у можливості подальшого впровадження розробленої системи у Галицькій громаді для підвищення ефективності реагування на надзвичайні ситуації. Проєкт базується на компонентах, що є доступними за ціною та обслуговуванням, що дозволяє реалізувати його у громадах з обмеженим бюджетом.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОПОВІЩЕННЯ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

1.1 Призначення системи та суть процесу

Місцева автоматизована система централізованого оповіщення (МАСЦО) — це сукупність технічних засобів, призначених для забезпечення своєчасного доведення інформації про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій до населення, органів влади, служб цивільного захисту, підприємств і організацій, що розташовані в межах певної адміністративно-територіальної одиниці.

Основною метою системи є оперативне та гарантоване доведення сигналів оповіщення до максимальної кількості осіб у визначеній зоні покриття. Це особливо важливо в умовах сучасних загроз, таких як бойові дії, повітряні тривоги, хімічні або техногенні аварії, пожежі, повені та інші події, які можуть становити небезпеку для життя та здоров'я людей.

МАСЦО належить до об'єктів критичної інфраструктури. Її надійність, автономність та ефективність мають вирішальне значення у забезпеченні функцій цивільного захисту на рівні територіальних громад.

Основні функції системи включають:

- приймання централізованих команд оповіщення (від ТАСЦО, ДСНС тощо);
- локальне формування та передавання сигналів тривоги;
- увімкнення гучномовців і передавання звукових сигналів (сирени або голосові повідомлення);
- моніторинг стану обладнання;
- можливість ручного чи автоматизованого керування через АРМ (автоматизоване робоче місце).

Процес роботи системи побудований за принципом: "Отримання сигналу → обробка → передавання на виконавчі пристрої → доведення до населення". Це може відбуватись як централізовано (від області або державного рівня), так і локально (через органи місцевого самоврядування).

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

У розроблюваній дипломній роботі розглядається система, яка працює на базі сучасного мікропроцесорного обладнання, з використанням цифрового радіозв'язку (DMR) та резервного GSM-з'єднання. Це дозволяє досягти високого рівня надійності навіть за умов аварійного відключення енергопостачання або перебоїв у зв'язку.

Таким чином, призначення МАСЦО полягає в забезпеченні швидкого, автоматизованого та надійного інформування населення Галицької територіальної громади про потенційні чи фактичні надзвичайні події.

1.2 Аналіз архітектури існуючих систем оповіщення

Системи оповіщення населення відіграють важливу роль у структурі національної безпеки та цивільного захисту. Вони призначені для негайного інформування населення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації техногенного, природного чи воєнного характеру. Від ефективності функціонування таких систем залежить не лише своєчасне реагування органів влади та служб, а й життя та здоров'я громадян.

Існуючі системи оповіщення в Україні умовно поділяються на три основні категорії: централізовані (державного рівня), місцеві (обласні, районні, міські) та об'єктові (на підприємствах і установах). Централізовані системи оповіщення, як правило, інтегровані у загальнодержавну мережу (ТАСЦО) і використовують канали зв'язку, які дозволяють доводити сигнали до обласних і місцевих рівнів. Місцеві системи функціонують автономно або частково інтегровані в загальну структуру і покривають територію окремих населених пунктів, а об'єктові — призначені для сповіщення персоналу на визначеній території підприємства чи установи.

Традиційна архітектура систем базувалася на дротових засобах зв'язку — з'єднаннях типу “телефонна мережа – сирена” або радіотрансляційних вузлах. Однак такі системи мають низку суттєвих недоліків: висока вартість обслуговування, складність у розгортанні нових ліній, вразливість до зовнішніх впливів та фізичного зносу. Крім того, значна частина таких систем є морально і технічно застарілою, що унеможлиблює її ефективне використання в сучасних

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

умовах. У багатьох випадках використовувались також провідні лінії до сирен типу С-40 або С-28 (див. рисунок 1.2.1), що встановлювались на дахах будівель. Проте на сьогодні більшість таких систем є технічно застарілими, мають обмежене покриття або взагалі не функціонують.



Рисунок 1.1 – Типові сирени систем оповіщення типу С-40 і С-28

У сучасних проєктах систем оповіщення активно застосовуються цифрові технології: канали зв'язку типу DMR, GSM, Ethernet, оптоволоконні мережі та бездротові протоколи з резервуванням. З'явилися автоматизовані робочі місця (АРМ), блоки сиренного оповіщення (БСО), системи з централізованим та локальним керуванням, програмно-апаратні комплекси з підтримкою сценаріїв реагування. Завдяки модульній структурі новітні системи можна масштабувати та адаптувати під специфіку конкретної громади.

Разом з тим, у багатьох територіальних громадах України досі відсутні повноцінні системи оповіщення або наявні рішення не відповідають вимогам часу. Вони не мають резервних каналів зв'язку, не забезпечують повного територіального покриття, не дозволяють оперативно вносити зміни у конфігурацію або запускати автоматизовані сценарії реагування.

Аналізуючи сучасну архітектуру систем оповіщення, можна дійти висновку, що існує гостра потреба у вдосконаленні, модернізації або створенні нових місцевих автоматизованих систем централізованого оповіщення. Особливої

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

актуальності це набуває в умовах децентралізації, коли значна відповідальність за безпеку покладається на органи місцевого самоврядування. Розробка таких систем має базуватись на сучасних принципах гнучкості, автономності, надійності та простоти інтеграції з уже наявною інфраструктурою.

1.3 Технічна характеристика типового обладнання МАСЦО

Для побудови місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) використовуються апаратно-програмні комплекси, що включають кілька основних типів обладнання. Нижче наведено технічну характеристику типових компонентів системи.

Автоматизоване робоче місце (АРМ).

АРМ є центральним вузлом управління та моніторингу системи. Основними складовими АРМ є:

Шафа управління із вмонтованим контролером. Контролер забезпечує прийом команд, формування вихідних сигналів для БСО та обробку інформації з моніторингу. Зазвичай використовується промислова мікропроцесорна платформа на базі процесора ARM Cortex-A або Intel Atom, оперативна пам'ять не менше 2 ГБ, вбудоване сховище (SSD) ~ 32 ГБ.

ноутбук із спеціальним та системним програмним забезпеченням (з вбудованою акустичною системою), маніпулятор та принтер або персональний комп'ютер (ПК) із спеціальним та системним програмним забезпеченням, монітором, клавіатурою, маніпулятором, акустичною системою, яка призначена для прослуховування мовних повідомлень та привернення уваги чергового у разі надходження на АРМ відповідних сигналів та інформаційних текстових повідомлень, принтером, який призначений для друку звітної документації. Мікрофон (тангета) для передавання прямих мовленнєвих повідомлень. Тангета підключається до контролера АРМ через кабель XLR або стандартний 3,5 мм аудіо-вхід.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Кнопковий пост із можливістю ручного запуску/припинення тривоги. Кнопковий пост містить блок селектора режимів (тривога/відбій/тест) та світлові індикатори стану. З'єднується з контролером за допомогою 4-провідного кабеля.

Резервне живлення, яке буде забезпечувати безперервну роботу АРМ під час можливих перебоїв у мережі електроживлення або її відсутності. На кшталт Блок безперебійного живлення (UPS). Для забезпечення безперервної роботи АРМ застосовується джерело живлення з акумуляторними батареями, що гарантує не менше ніж не менше 24 годин в режимі чергування та 30 хв в режимі оповіщення. Вихідна напруга – 12 В DC; номінальна потужність блоку UPS – 250 Вт; технологія АКБ – AGM або LiFePO₄.

Засоби комунікації контролера АРМ:

- Інтерфейс Ethernet (RJ-45 10/100 Мбіт/с) для підключення до локальної IP-мережі.
- Модуль DMR (Digital Mobile Radio) – цифровий радіомодуль стандарту DMR Tier 2/3, частотний діапазон 400–470 МГц, вихідна потужність – до 30 Ватт, імпеданс антени – 50 Ом, роз'єм SMA.
- GSM/LTE-модуль для резервного каналу зв'язку. Підтримка 2G/3G/4G, інтерфейс SIM, антена з коефіцієнтом посилення до 5 дБі.

Антена для DMR і GSM: універсальна дволінійна антена з можливою установкою на дахах або спеціальних щоглах. Висота розташування антени зазначається індивідуально, але, як правило, не менше 10 м над рівнем ґрунту для забезпечення надійного радіопокриття.

Контури захисту та монтаж: шафа АРМ металевої конструкції зі ступенем захисту IP54, вмонтовані тампери (мікровимикачі) для охорони від несанкціонованого доступу.

Блок сиренного оповіщення (БСО).

БСО – виконавчий елемент системи, що безпосередньо відтворює звукові або мовленнєві сигнали. Основними характеристиками типового БСО є:

Потужність підсилювача:

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- БСО-400 – номінальна вихідна потужність 400 Вт (2 x 200 Вт на канал), кількість гучномовців – 2 шт. (200 Вт кожний).
- БСО-800 – номінальна вихідна потужність 800 Вт (4 x 200 Вт), кількість гучномовців – 4 шт.

Контролер БСО: вмонтований мікропроцесорний контролер керування, сумісний з АРМ через DMR або Ethernet. Процесор – Cortex-M4/M7, тактова частота – 120–180 МГц.

Блок живлення та акумулятори:

- Основне джерело – місцева мережа змінного струму 220 В АС, 50 Гц.
- Резервне живлення – вбудований каналний блок UPS, АКБ 12 В, 100 А·год, що забезпечує до 8 годин автономної роботи.
- Наявність зарядного пристрою (зарядна плата з автоматичним контролем заряду).

Гучномовці (рупорний тип): потужність кожного – 200 Вт, опір – 8 Ω, SPL (пікова гучність) – до 110 дБ на відстані 1 м, робочий частотний діапазон – 300 Гц ... 8 кГц. Матеріал корпусу – ударостійкий полікарбонат з атмосферостійким захистом.

Складові МАСЦО, для взаємодії з ТАСЦО та іншими АСЦО повинні мати можливість використовувати не менше двох типів каналів зв'язку (з переліку: Ethernet, мобільний зв'язок, супутниковий зв'язок, радіозв'язок) для кожного елемента ПТК

Резервування каналів зв'язку:

- DMR-канал – основний для передачі команд. Частотний діапазон 400–470 МГц, швидкість передачі даних – до 9,6 кбіт/с.
- Ethernet-канал (RJ-45) – для IP-мереж, швидкість – 10/100 Мбіт/с.
- GSM/LTE-канал – резервний; для гарантії зв'язку за умов відсутності основного каналу; швидкість передачі даних до 50 Мбіт/с.

Моніторинг та телеметрія: контролер БСО відправляє до АРМ сигнали про стан живлення, температурний режим, рівень заряду АКБ, наявність аварійних подій (перегрів, коротке замикання).

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструкція шафи БСО: металевий корпус зі ступенем захисту IP65, розміри (В х Ш х Г) – приблизно 800 × 600 × 300 мм, вага зі встановленими батареями – до 50 кг. Обладнання має встановлюватися стаціонарно, у разі необхідності окремі елементи повинні мати можливість перевозитися або переноситися.

Тамперні датчики: вмонтовані на дверцятах шафи та нижній кришці, з'єднані з контролером БСО через оптичні/мікровимикачі.

Гучномовці рупорного типу служать для трансляції звукових тривожних сигналів і мовленнєвих повідомлень. Основні технічні характеристики:

Потужність – 200 Вт на один гучномовець.

Чутливість (SPL) – до 110 дБ (пік) на відстані 30 м.

Робочий частотний діапазон – 300 Гц ... 8 кГц, що забезпечує достатню розбірливість мови.

Матеріал – ударостійкий пластик (полікарбонат) з атмосферостійким покриттям, що гарантує експлуатацію за температур $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Імпеданс – 8 Ω , підключаються через підсилювач у шафі БСО (вихідний модуль підсилювача класу D, КПД > 90 %).

Кронштейн для монтажу – металевий, регульований за кутом нахилу ($\pm 30\text{ }^{\circ}$) і азимутом (поворот $\pm 360\text{ }^{\circ}$). Резервні джерела живлення та стабілізація напруги.

Надійність системи оповіщення багато в чому залежить від стабільності живлення:

Контролери АРМ та БСО вимагають напруги 12 В DC $\pm 5\%$.

Зарядний пристрій повинний забезпечувати автоматичне відключення після повного заряду АКБ, а також підтримувати температурний контроль (компенсація температурних змін).

Стабілізатори напруги (реле напруги) встановлюються на вході блоку живлення, захищаючи обладнання від різких перепадів мережевої напруги (170–270 В AC).

Акумуляторні батареї: зазвичай застосовуються свинцево-кислотні AGM 12 В 100 А·год або літєві LiFePO₄ 12 В 100 А·год з системою BMS (Battery Management System).

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Комунікаційні кабелі та роз'єми.

Ethernet-кабелі (Cat5e/Cat6) для з'єднання контролера АРМ із локальною мережею та БСО. Дистанція до 100 м без додаткових репітерів, захист від перенапруг (розрядники на магнітопроникному елементі).

Коаксіальні кабелі (RG-58, RG-213) для з'єднання DMR-антен (імпеданс 50 Ω) з контролером або БСО. Довжина кабелю залежить від висоти встановлення антени (максимум 100 м для RG-58 без значних втрат).

Силові кабелі (2 x 2,5 мм²) для живлення БСО від мережі 220 В АС (через автоматичний вимикач 16 А).

Сигнальні кабелі (4 x 0,5 мм²) для підключення кнопочового посту, тамперних датчиків та інших дискретних входів/виходів до контролера АРМ чи БСО.

Контролери та ПЗ.

Контролер АРМ підтримує до 8 каналів зв'язку, включаючи Ethernet, DMR, GSM/LTE, RS-485, CAN, USB, Wi-Fi, ZigBee (або інші, залежно від моделі). Має вбудований модуль резервного зберігання конфігурації та журналу подій (журнал роботи збережений у внутрішній пам'яті не менше як на 1000 записів).

Контролер БСО (Type BSO-Ctrl-400/800) містить 4 цифрові входи, 2 шт. аналогових входи (для моніторингу напруги АКБ та температури), 2 релейні виходи для управління живленням підсилювача. ПЗ контролера дозволяє задавати сценарії включення у залежності від часу доби, типу події, пріоритетності повідомлення.

Програмне забезпечення "Orovishchenia-SC" для ПК оператора:

- Інтерфейс на основі Windows 10 (32/64-bit).
- Підтримка створення сценаріїв "за розкладом", "за подією" (здобути сигнал від вищого рівня).
- Графічна візуалізація карти розташування БСО з відображенням статусу (онлайн/офлайн, стан АКБ, температура, сигнал тривоги).
- Архівація на сервер або локальний NAS (журнал запусків, стан пристроїв, тривожні записи).

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- Можливість налаштування розсилки SMS-сповіщень відповідальним особам у разі виникнення критичних аварій (низька напруга АКБ, втрата зв'язку тощо).

складові системи повинні мати можливість цілодобової віддаленої перевірки працездатності користувачем у програмному забезпеченні на АРМ (як мінімум наявність/відсутність основного електроживлення, справність резервного електроживлення, наявність/відсутність каналів зв'язку кожного з передбаченого проектом каналу зв'язку, цілісність ліній підключення гучномовців, працездатність гучномовців, контроль несанкціонованого доступу до технічних засобів оповіщення та інформування населення). можливість створення на існуючій мережній інфраструктурі провідного інтернету віртуальної приватної мережі (VPN) для об'єднання компонентів ПТК МАСЦО, її захист та маршрутизацію.

У цьому підпункті було розглянуто основні технічні вимоги до місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення відповідно до чинних нормативів ДСНС, ДСТУ та європейських стандартів. Зокрема, проаналізовано вимоги до рівня звукового тиску, часу реакції системи, резервування каналів зв'язку і живлення, а також умови експлуатації обладнання. Усі ключові параметри узагальнено в компактній формі у таблиці 1.1, що дозволяє наочно оцінити відповідність запропонованої системи нормативним стандартам.

Таблиця 1.1 – Технологічні параметри МАСЦО

Параметр	Нормативна вимога / значення
Цілодобова робота (черговий режим)	Безперервна, 24/7 робота у режимі чергування (цілодобове підтримання системи ввімкненою).
Час готовності до оповіщення	Не більше 60 с – після надходження сигналу чи рішення про оповіщення система повинна розпочати передачу сигналу.

Мінімальний рівень звуку сигналу	
Максимальний рівень звуку сигналу	
Резервне живлення (чергування/оповіщення)	
Канали зв'язку (для керування)	≥ 65 дБ (А) у будь-якій точці зони оповіщення; щонайменше на 15 дБ вище за рівень навколишнього шуму.
Діапазон робочих температур	≤ 118 дБ (А) в зоні покриття. За шумового фону >100 дБ рекомендовано додаткове візуальне оповіщення.
Номінальна потужність сирени (БСО)	Не менше 24 год у режимі чергування і 30 хв у режимі оповіщення – від автономного джерела живлення.
	Мінімум 2 незалежних типи зв'язку (Ethernet + мобільний зв'язок, радіо, супутник тощо) для кожного елемента системи.
	Від -20 °С до $+50$ °С для обладнання зовнішнього встановлення.
	Не менше 100 Вт (залежить від проектного розрахунку).

Типове обладнання МАСЦО включає АРМ, БСО, гучномовці, антени, стабілізатори напруги, кабелі та контролери з відповідним програмним забезпеченням. Кожен із цих елементів має чітко визначені технічні параметри:

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

потужність живлення, вихідну потужність підсилювача, характеристики звукового випромінювання, протоколи зв'язку та способи резервування. Для забезпечення безперервної роботи в умовах надзвичайних ситуацій важливо, щоб апаратура мала високу надійність, працювала в широкому діапазоні температур та мала автономні джерела живлення.

З метою візуалізації принципу дії та структури локальної автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) для Галицької територіальної громади, було побудовано ситуаційний план розміщення базових станцій оповіщення (БСО). Цей план є ключовим елементом при оцінці покриття звукового сигналу та плануванні технічного впровадження системи на рівні всієї громади.

На рисунку 1.1 зображено розміщення елементів системи МАСЦО у місті Галич, де застосовано сучасні засоби оповіщення, зокрема гучномовці потужністю 400 Вт та 800 Вт, інтегровані з цифровими контролерами та системами зв'язку GSM/LTE і DMR. При цьому враховано оптимальне покриття території із забезпеченням максимальної ефективності розповсюдження звукового сигналу на основі топографічних даних та густоти забудови.

Зона покриття кожного БСО була змодельована з урахуванням потужності підсилювачів, кількості гучномовців у комбінації та їхнього просторового розміщення. Завдяки цьому забезпечується мінімізація «мертвих зон» та гарантується передача сигналу у радіусі, необхідному для оперативного інформування населення про надзвичайні ситуації.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Контроль цілісності ліній оповіщення: перевірка опору кабелів до гучномовців. Якщо імпеданс виходить за межі 8–16 Ом, система вважає лінію обірваною або короткозамкненою та реєструє помилку.
- Контроль рівня фонового шуму (опційно): до введення в експлуатацію здійснюються заміри шуму. При перевищенні відхилення понад 5 дБ від еталонного значення у робочу частоту (300 Гц–8 кГц) — необхідна корекція зони покриття.
- Контроль роботи гучномовців: під час тестових прогонів система вимірює SPL (Sound Pressure Level). Мінімальне значення – 110 дБ @ 1 м. Якщо рівень менший, то виносить повідомлення про несправність.
- Контроль справності контролера БСО: періодичне опитування стану внутрішніх параметрів (температура, струми підсилювача, стан реле). При перевищенні температури понад 60 °С або завантаженні підсилювача вище 90% — генерується попереджувальний сигнал.

1. Автоматичний режим:

- Моніторинг сигналів від ТАСЦО або об'єктових сенсорів 24/7.
- При надходженні сигналу «тривога» автоматично активуються всі необхідні БСО. Час активації – не більше 60 секунд.
- Тривалість стандартного звукового сигналу – 60 секунд, пауза між серіями – 5 секунд.

2. Ручний режим:

- Оператор може ініціювати оповіщення за допомогою АРМ або кнопочового посту.
- Доступні режими: «Сирена», «Мовне повідомлення», «Тестовий сигнал».
- Налаштування зон оповіщення: від однієї БСО до всіх гучномовців у системі.

3. Тестовий режим:

- Прогін коротких тестових звукових сигналів (≤ 70 дБ на відстані 1 м) для перевірки працездатності обладнання.
- Логування результатів: час роботи, рівень SPL, стан каналів зв'язку.
- Тривалість – до 5 хвилин; частота – раз на добу за розкладом.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Режим обслуговування:

- Вимкнення автоматичних спрацьовувань для технічного персоналу.
- Проведення діагностики ліній, замір опору кабелів, перевірка гучномовців без генерації повного звуку.
- Логування робіт: зміни опору, стан реле, помилки.

5. Екстрений режим:

- Реагування на надзвичайні ситуації техногенного або природного характеру.
- Переход на максимальний рівень оповіщення: безперервний звуковий сигнал або мовний режим без пауз.
- Блокування запланованих тестів.

Таким чином, вибір та налаштування параметрів контролю й керування дозволяють гнучко реагувати на зміни у стані системи, своєчасно перемикатися між каналами зв'язку та підтримувати високий рівень готовності МАСЦО до оповіщення щодо надзвичайних ситуацій.

У межах першого розділу проведено системний аналіз призначення та функціонального призначення місцевих автоматизованих систем централізованого оповіщення, охарактеризовано архітектуру сучасних рішень та окреслено технічні вимоги до складових системи. Особливу увагу приділено вибору параметрів контролю та режимів керування, які мають ключове значення для забезпечення надійності, оперативності та адаптивності системи в умовах виникнення надзвичайних ситуацій.

Висновки до розділу

У ході виконання першого розділу було здійснено комплексний аналіз об'єкта автоматизації — процесу централізованого оповіщення населення у складі місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО). Охарактеризовано структуру системи, її функціональні складові та призначення, а також визначено вимоги до її надійності, оперативності та технічної сумісності з сучасними технологіями зв'язку.

Розглянуто особливості функціонування типових елементів МАСЦО, таких як базові станції оповіщення, акустичні гучномовці, системи керування сигналами та

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

джерела резервного живлення. Окрему увагу приділено побудові функціональної структури системи оповіщення для потреб Галицької територіальної громади, де в даний момент повністю відсутня діюча система масового оповіщення.

Проведене дослідження показало доцільність впровадження сучасної автоматизованої системи оповіщення на базі вже апробованих технічних рішень із проєкту, адаптованого до конкретних умов територіальної громади. Встановлено, що системи такого типу здатні забезпечити високу оперативність реагування (до 60 секунд) та відповідність до вимог ДСНС і ДСТУ.

Таким чином, аналіз підтвердив необхідність впровадження сучасної, надійної та масштабованої системи оповіщення, яка дозволяє забезпечити своєчасне інформування населення в надзвичайних ситуаціях із подальшою можливістю її розширення на всю громаду.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ОПОВІЩЕННЯ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для забезпечення ефективного функціонування місцевої автоматичної системи централізованого оповіщення (МАСЦО) необхідно побудувати її математичну модель, яка дозволить провести аналіз стійкості та динамічних характеристик системи. Одним із найбільш зручних методів опису динамічних процесів у лінійних стаціонарних системах є метод операційного числення, зокрема використання перетворення Лапласа.

2.1 Математичне моделювання системи оповіщення

МАСЦО можна подати у вигляді замкненої автоматичної системи керування, структура якої включає формувач сигналу оповіщення, канал зв'язку, виконавчий пристрій і контур зворотного зв'язку. Кожна з підсистем описується відповідною передаточною функцією:

Формувач сигналу (регулятор):

$$G_{CO}(s) = \frac{K}{\tau s + 1}.$$

Канал зв'язку (затримка сигналу):

$$G_{K3}(s) = e^{-\theta s}.$$

Виконавчий пристрій:

$$G_{BP}(s) = \frac{1}{T_s + 1}.$$

Зворотний зв'язок (вимірювальний фільтр):

$$G_{33}(s) = \frac{K_f}{s + a}.$$

Таким чином, повна передаточна функція замкненої системи має вигляд:

$$W_{3K}(s) = \frac{G_{CO}(s) * G_{K3}(s) * G_{BP}(s)}{1 + G_{CO}(s) * G_{K3}(s) * G_{BP}(s) * G_{33}(s)}.$$

Ця модель враховує вплив інерційних властивостей, затримки у передачі сигналу, підсилення та фільтрації у зворотному зв'язку. Такий підхід дозволяє забезпечити точний опис динаміки системи та є основою для подальшого комп'ютерного моделювання, зокрема в середовищі MATLAB/Simulink.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АСЦО можна подати у вигляді автоматизованої системи керування з одним контуром регулювання. Типова структура такої системи включає:

- джерело сигналу (центральний пульт керування),
- передавальний канал (радіо/проводова мережа),
- виконавчий пристрій (сирена, динамік),
- зворотний зв'язок (датчики стану сирени або контрольні сигнали),
- регулюючий пристрій (програмований контролер або логічний модуль).

Нехай система описується наступним рівнянням у часовій області:

$$T * \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = K * u(t),$$

де:

- $y(t)$ — вихідний сигнал (інтенсивність оповіщення),
- $u(t)$ — вхідний сигнал (команда на оповіщення),
- T — постійна часу системи,
- K — коефіцієнт підсилення.

Застосуємо перетворення Лапласа:

$$T * s * Y(s) + Y(s) = K * U(s).$$

$$Y(s) * (Ts + 1) = K * U(s).$$

Отже:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{Ts + 1}.$$

Таким чином, передавальна функція елементарної ланки системи має вигляд:

$$W(s) = \frac{K}{Ts + 1}.$$

Якщо враховувати затримку сигналу в каналі зв'язку, то її можна змодельовати як експоненціальну функцію:

$$W_{затр}(s) = e^{-st}.$$

Повна передавальна функція АСЦО з урахуванням затримки буде:

$$W_{АСЦО}(s) = \frac{K}{Ts + 1} * e^{-st}.$$

За допомогою отриманої передаточної функції можна виконати:

- аналіз стійкості (наприклад, методом Гурвіца),

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розрахунок перехідної характеристики (відгук на одиничний стрибок),
- визначення впливу параметрів T , K , τ на швидкодію та осциляції.

Для подальшого аналізу в наступному пункті буде проведено моделювання в середовищі MATLAB/Simulink та побудовано відповідні графіки.

На рисунку 2.1 зображено структурну блок-схему математичної моделі автоматизованої системи централізованого оповіщення. Модель представлена у вигляді замкненої системи автоматичного керування з класичним негативним зворотним зв'язком, що дозволяє врахувати вплив усіх основних складових системи на її поведінку в частотній області.

Система складається з чотирьох основних функціональних блоків: формувача сигналу оповіщення, каналу зв'язку, виконавчого пристрою та елементів зворотного зв'язку. Формувач сигналу описується передаточною функцією

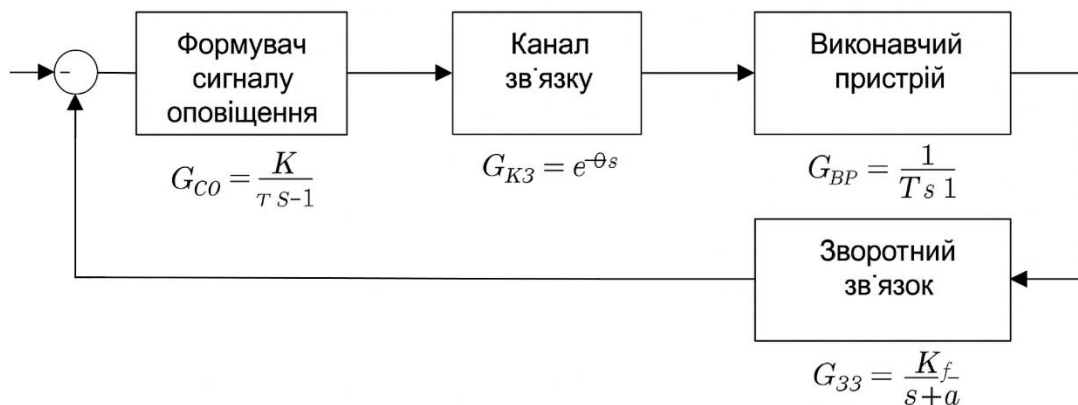


Рисунок 2.1 – Блок схема математичної моделі

Для забезпечення надійного та ефективного функціонування автоматичної системи централізованого оповіщення необхідно враховувати всі її динамічні властивості в умовах реального часу. Саме тому важливою складовою аналізу є побудова та обчислення замкненої автоматичної системи керування, яка враховує не лише прямий шлях сигналу (регулятор, канал зв'язку, виконавчий пристрій), а й зворотний зв'язок. Такий підхід дозволяє оцінити вплив затримок, інерційності, фільтрації та підсилення на загальну поведінку системи. Обчислення замкненої

структури дає можливість точно моделювати реакцію системи на зовнішні сигнали, перевірити її стійкість, швидкодію та забезпечити мінімізацію похибок у критичних умовах, що особливо важливо для систем, призначених для оперативного інформування населення під час надзвичайних ситуацій.

На основі побудованої структурної схеми місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) проведено числове моделювання із заданими параметрами для кожної з її складових.

Формувач сигналу оповіщення описується передаточною функцією:

$$G_{CO}(s) = \frac{K}{\tau s + 1}.$$

За нашими даними, значення коефіцієнтів:

$$K = 2, \tau = 1$$

Отже:

$$G_{CO}(s) = \frac{2}{1s - 1}.$$

Канал зв'язку враховує затримку, що моделюється експоненціальною функцією:

$$G_{K3}(s) = e^{-\theta s}.$$

Проведене дослідження показало, що затримка сигналу становить:

$$\theta = 0.3 \text{ с}$$

Тому:

$$G_{K3}(s) = e^{-0.3s}.$$

Виконавчий пристрій — це інерційна ланка першого порядку:

$$G_{BP}(s) = \frac{1}{Ts + 1}.$$

З отриманих технічних характеристик пристрою встановлено:

$$T = 1$$

Отже:

$$G_{BP}(s) = \frac{1}{1.2s + 1}.$$

Зворотний зв'язок представлено фільтром із параметрами, встановленими шляхом моделювання:

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{33}(s) = \frac{K_f}{s + a},$$

$$K_f = 1, a = 1$$

Отже:

$$G_{33}(s) = \frac{1}{s + 1}.$$

З урахуванням усіх складових, повна передаточна функція замкненої системи набуває вигляду:

$$W_{3K}(s) = \frac{G_{CO}(s) * G_{K3}(s) * G_{BP}(s)}{1 + G_{CO}(s) * G_{K3}(s) * G_{BP}(s) * G_{33}(s)}.$$

Після підстановки числових значень:

$$W_{3K}(s) = \frac{\frac{2}{1s-1} * e^{-0.3s} * \frac{1}{1.2s+1}}{1 + \frac{2}{1s-1} * e^{-0.3s} * \frac{1}{1.2s+1} * \frac{1}{s+1}}.$$

Ця передаточна функція використовується для побудови перехідної характеристики, аналізу стійкості системи та дослідження її динамічних властивостей у середовищі MATLAB/Simulink.

У межах дослідження було проведено математичне моделювання автоматизованої системи централізованого оповіщення (АСЦО) у середовищі MATLAB Simulink. З метою отримання точної динамічної моделі була побудована передаточна функція замкненої системи, яка враховує інерційність формувача сигналу, затримку в каналі зв'язку, інерційність виконавчих пристроїв, а також негативний зворотний зв'язок із фільтруючою ланкою. Усі передаточні функції були реалізовані у вигляді стандартних блоків, а затримка моделювалася за допомогою апроксимації Паде другого порядку.

У результаті моделювання було отримано графік перехідної характеристики замкненої системи, що представлений на рисунку 2.2. Він демонструє стійку поведінку системи з незначним перерегулюванням і плавним виходом на стаціонарне значення, що підтверджує правильність вибраних параметрів та ефективність побудованої структури. Така поведінка є критично важливою для систем оповіщення, де необхідна швидка та надійна реакція на зовнішні сигнали за мінімального ризику помилкового або нестабільного спрацювання.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У наведеному виразі: K — коефіцієнт підсилення регулятора, τ — стала часу формувача сигналу, T — інерційна стала виконавчого пристрою, K_f — коефіцієнт підсилення зворотного зв'язку, a — параметр фільтра, θ — час затримки в каналі зв'язку.

Таким чином, врахування додаткових елементів у моделі дозволяє краще оцінити поведінку системи при зміні зовнішніх впливів та забезпечити точніше налаштування для досягнення бажаної стійкості й якості регулювання.

На рисунку 2.3 зображено перехідну характеристику замкненої автоматизованої системи централізованого оповіщення (АСЦО) з урахуванням затримки в каналі зв'язку. У моделюванні використано повну передаточну функцію другого порядку з експоненційною затримкою, що відображає реальні інерційні властивості системи та її часову реакцію на вхідний сигнал.

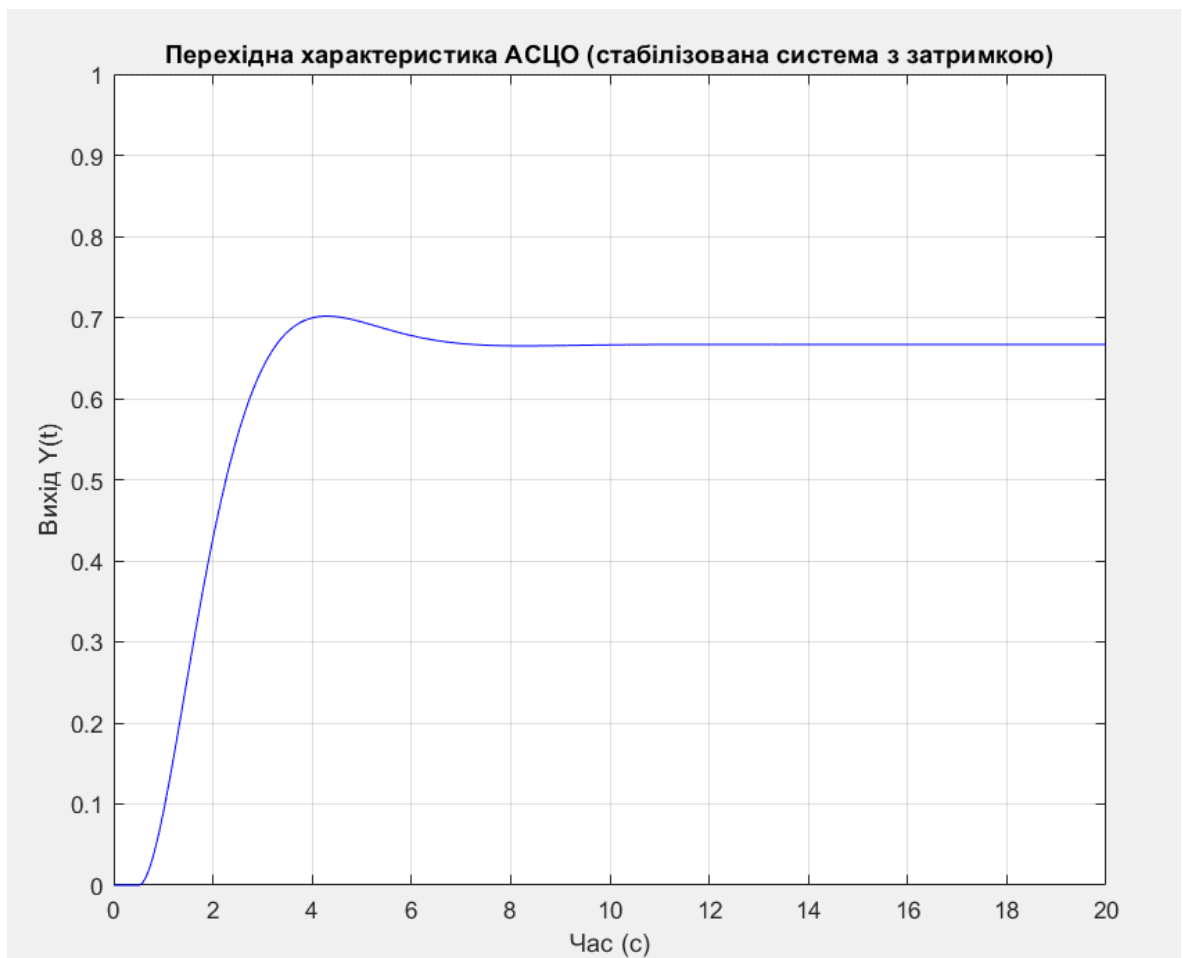


Рисунок 2.3 – Перехідна характеристика замкненої системи другого порядку

З графіка видно, що система є стійкою: початкове зростання сигналу супроводжується незначним перерегулюванням, після чого спостерігається згасаючий коливальний процес. Вихід системи поступово стабілізується на новому сталому значенні, що свідчить про наявність ефективного демпфування та адекватно підібраних параметрів ланок.

Також варто зазначити, що затримка в каналі зв'язку викликає невелике відставання початку реакції системи, однак вона не призводить до дестабілізації. Це підтверджує правильність реалізації передаточної функції з урахуванням фактичних технічних обмежень.

Таким чином, проведене моделювання демонструє, що при відповідному налаштуванні коефіцієнтів регулювання система з реальними затримками забезпечує необхідну якість регулювання та може бути впроваджена в практичних умовах.

Висновки до розділу

У даному розділі було проведено комплексне математичне моделювання автоматизованої системи централізованого оповіщення (АСЦО), що включає розробку структурної схеми, формалізацію передаточних функцій окремих підсистем, а також побудову повної моделі замкненого контуру керування.

На початковому етапі було реалізовано модель першого порядку, яка дозволила проаналізувати базову поведінку системи без урахування складніших динамічних ефектів. Модель описувала основні взаємозв'язки між елементами, проте в процесі моделювання виявлено обмежену точність такого підходу: зокрема, виникали коливання, тривалий перехідний процес та нестійкість системи при зміні параметрів.

Для підвищення адекватності математичного опису було побудовано розширену модель другого порядку, яка враховує інерційні характеристики виконавчого пристрою, зворотного зв'язку та фільтра. Удосконалена модель також дозволила дослідити вплив затримки в каналі передачі сигналу, яку було апроксимовано без використання спрощень. У результаті отримано реалістичну

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

перехідну характеристику, яка підтверджує стійкість системи та відповідність її поведінки вимогам до швидкодії та якості регулювання.

Порівняльний аналіз показав, що модель другого порядку значно краще відображає фізичну сутність процесу, а також надає можливість для подальшого синтезу регуляторів, оптимізації параметрів та перевірки стійкості за критерієм Гурвіца. Отримані результати підтверджують доцільність використання складнішої моделі на етапі розробки та дослідження автоматизованих систем оповіщення.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

На основі зібраних технічних характеристик та загальних вимог до місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення у цьому розділі розглядається побудова логіки керування, яка забезпечує своєчасну активацію та відключення виконавчих елементів. Особливу увагу приділено розробці одноконтурної системи автоматичного керування оповіщенням, що базується на логіці дискретного спрацювання за сигналом «Тривога». Також буде виконано якісний аналіз стійкості та оперативності запропонованого алгоритму з урахуванням практичних затримок і потреб резервування сигналів.

3.1 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування оповіщенням

Синтез одноконтурної системи автоматичного керування (САК) базується на формуванні структури замкненого регулятора, здатного забезпечити задані вимоги до динаміки та точності регулювання. У даному випадку синтезована структура побудована на основі компонентів, аналогічних тим, що були використані при математичному моделюванні: формувач керуючого сигналу, канал зв'язку із затримкою, виконавчий пристрій та зворотній зв'язок.

Кожна з ланок системи представлена у вигляді передаточної функції:

- Формувач сигналу:

$$G_{CO}(s) = \frac{2}{1s - 1}.$$

- Канал зв'язку:

$$G_{K3}(s) = e^{-0.3s}.$$

- Виконавчий пристрій:

$$G_{BP}(s) = \frac{1}{1.2s + 1}.$$

- Зворотній зв'язок:

$$G_{33}(s) = \frac{1}{s + 1}.$$

Загальна передаточна функція замкненої системи має вигляд:

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{3K}(s) = \frac{G_{CO}(s) * G_{K3}(s) * G_{BP}(s)}{1 + G_{CO}(s) * G_{K3}(s) * G_{BP}(s) * G_{33}(s)}$$

У процесі синтезу система розглядається не лише як фіксована математична модель, а як набір взаємопов'язаних елементів, параметри яких можуть бути змінені з метою досягнення бажаних динамічних характеристик. Наприклад:

- Збільшення коефіцієнта підсилення K у формувачі прискорює реакцію системи, але водночас може призвести до зростання перерегулювання або навіть до втрати стійкості.

- Зменшення параметра a у зворотному зв'язку зменшує загальне демпфування, що може викликати коливання.

- Затримка θ у каналі зв'язку істотно впливає на фазовий зсув, і її занадто велике значення може зруйнувати стійкість навіть при помірних значеннях інших коефіцієнтів.

Таким чином, ці параметри є об'єктами для налаштування в процесі синтезу, і їх оптимальний підбір базується на аналізі стійкості, перехідної характеристики, часу встановлення та допустимого перерегулювання. Застосування Simulink-моделювання дозволяє оперативно перевіряти результат кожної зміни й формувати стабільну та надійну систему, яка задовольняє вимоги до автоматизованого оповіщення.

Крім того, було синтезовано модель другого порядку, яка дозволяє точніше врахувати інерційні властивості об'єктів керування. Така модель враховує не лише затримку у сигнальному каналі, але й другий ступінь інерційності через виконавчий механізм та фільтр у зворотному зв'язку.

Передаточна функція з урахуванням елементів другого порядку має вигляд:

$$W_{3K}(s) = \frac{K(s + a) * e^{-\theta s}}{(s + a)(Ts + 1)(\tau s + 1) + KK_f}$$

Аналіз моделі показав, що коректне налаштування коефіцієнтів дозволяє досягти стійкості навіть за наявності запізнення в контурі. Модель другого порядку забезпечила покращені динамічні характеристики: коротший перехідний процес, менше перерегулювання та стабільну поведінку виходу. У результаті, така

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модель є доцільною для використання при розробці систем оповіщення, які потребують високої точності та надійності.

Таким чином, у ході синтезу САК розглянуто як базову одноконтурну систему першого порядку, так і розширену структуру другого порядку. Порівняння результатів дає змогу зробити висновок про доцільність використання складніших моделей у критичних застосуваннях.

3.2 Аналіз стійкості та якості керування

Для перевірки стійкості синтезованої одноконтурної автоматичної системи керування застосуємо критерій Гурвіца, що ґрунтується на аналізі знаків коефіцієнтів характеристичного рівняння та побудові відповідного визначника.

Розглянемо модель першого порядку з передаточною функцією:

$$W_{3K}(s) = \frac{G_{CO}(s) * G_{K3}(s) * G_{BP}(s)}{1 + G_{CO}(s) * G_{K3}(s) * G_{BP}(s) * G_{33}(s)}$$

Затримка $e^{(-0.3s)}$ є нераціональною функцією, тому для аналізу стійкості застосуємо апроксимацію першого порядку методом Пейда:

$$e^{(-0.3s)} = (1 - 0.15s) / (1 + 0.15s)$$

$$e^{-0.3s} = \frac{1 - 0.15s}{1 + 0.15s}$$

Таким чином, розглянемо відкриту систему:

$$G(s) = \frac{2}{s - 1} * \frac{1 - 0.15s}{1 + 0.15s} * \frac{1}{1.2s + 1}$$

та зворотний зв'язок:

$$H(s) = \frac{1}{s + 1}$$

Підставимо у вираз замкненої системи:

$$W(s) = G(s) / (1 + G(s) * H(s)).$$

$$\Rightarrow D(s) = 1 + G(s) * H(s).$$

$$W(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s) * H(s)} \Rightarrow D(s) = 1 + G(s) * H(s).$$

Обчислимо знаменник:

$$G(s) * H(s) = \frac{2(1 - 0.15s)}{(s - 1)(1 + 0.15s)(1.2s + 1)} * \frac{1}{s + 1}$$

Після множення знаменників отримаємо характеристичне рівняння:

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$G(s) = 1 + \frac{2(1 - 0.15s)}{(s - 1)(1 + 0.15s)(1.2s + 1)s + 1} = 0.$$

Домноживши обидві частини на знаменник, отримуємо алгебраїчне характеристичне рівняння виду:

$$a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 = 0$$

Умови стійкості за Гурвіцем:

Система є стійкою, якщо:

- Усі коефіцієнти $a_i > 0$
- Усі головні мінори матриці Гурвіца мають додатне значення

Якщо хоча б один з мінорів дорівнює нулю або від'ємний — система нестійка або на межі стійкості.

На рисунку 3.1 наведено перехідну характеристику замкненої одноконтурної системи автоматичного керування (САК), побудовану на основі передаточних функцій першого порядку відповідно до синтезованої моделі. Для дослідження було використано апроксимацію запізнення в каналі зв'язку за методом Пейда першого порядку з параметром затримки 0,3 с. Моделювання проводилось у середовищі MATLAB на часовому інтервалі до 50 секунд для виявлення динаміки на тривалому проміжку.

Графік демонструє нестійку поведінку системи: після початкового періоду незначних коливань, амплітуда вихідного сигналу починає стрімко зростати у від'ємному напрямку. Це свідчить про наявність нестійких полюсів у характеристичному рівнянні, зокрема нульів у правій півплощині комплексної s -області. Така поведінка є неприйнятною для систем оповіщення, оскільки в реальних умовах призводить до втрати керованості, затримки або спотворення сигналу. Отже, подальший аналіз системи передбачає її модифікацію, зокрема шляхом заміни окремих ланок або введення коригуючих елементів для забезпечення стійкості.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

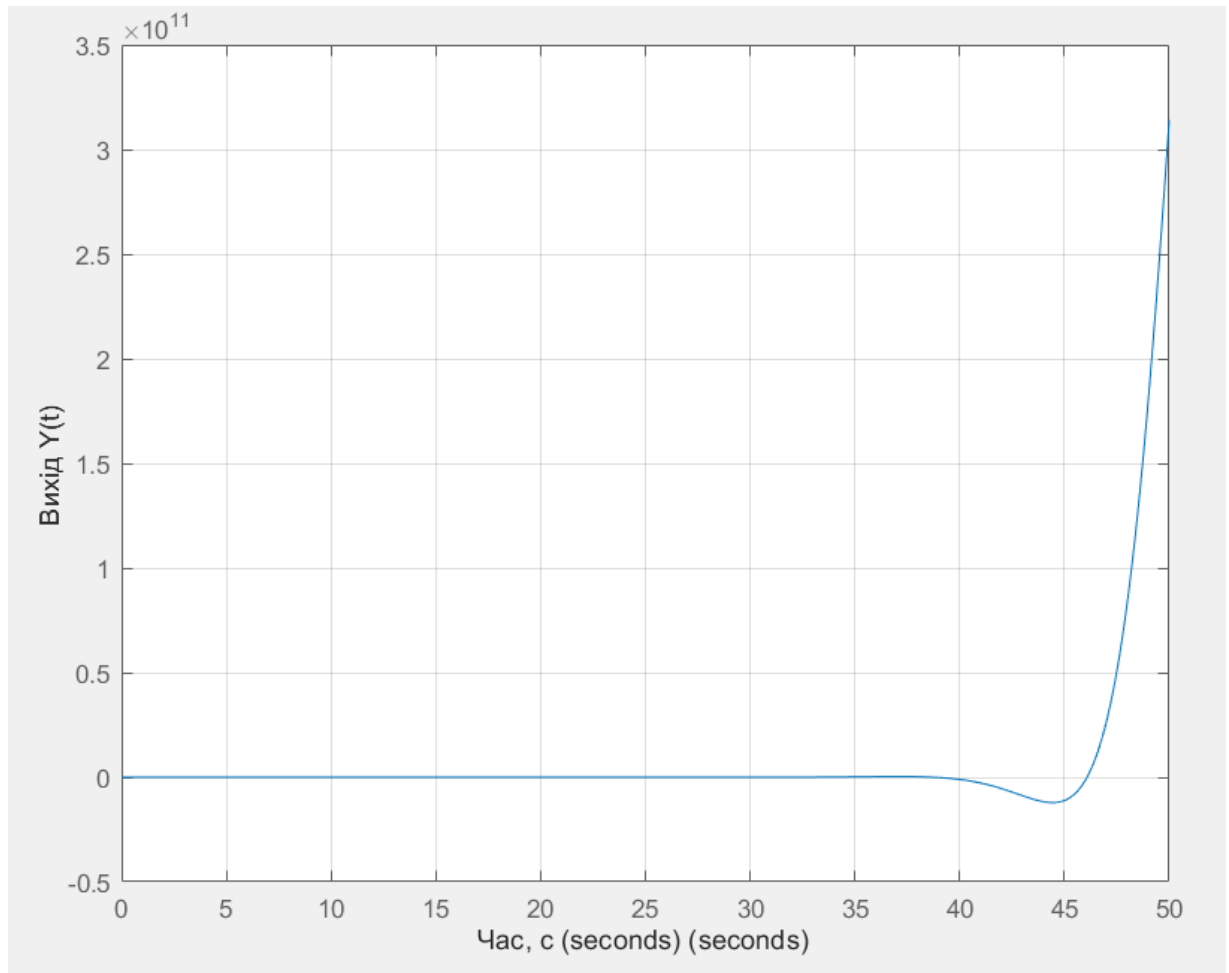


Рисунок 3.1 – Стійкість моделі першого порядку за критерієм Гурвіца

Перевірка стійкості моделі другого порядку за критерієм Гурвіца

Для оцінки стійкості моделі другого порядку автоматизованої системи централізованого оповіщення використаємо критерій Гурвіца. Початкова передаточна функція має вигляд:

$$W_{3K}(s) = \frac{K(s+a) * e^{-\theta s}}{(s+a)(Ts+1)(\tau s+1) + KK_f}$$

Оскільки критерій Гурвіца застосовується до раціональних функцій, затримку $e^{(-\theta s)}$ ігноруємо. Отже, розглядаємо знаменник передаточної функції:

$$D(s) = (s+a)(Ts+1)(\tau s+1) + KK_f.$$

Розкриваємо дужки:

$$(Ts+1)(\tau s+1) = T\tau s^2 + (T+\tau)s + 1$$

$$(s+a)(T\tau s^2 + (T+\tau)s + 1) = T\tau s^3 + [T\tau a + (T+\tau)]s^2 + [(T+\tau)a + 1]s + a$$

$$D(s) = T\tau s^3 + [T\tau a + (T+\tau)]s^2 + [(T+\tau)a + 1]s + a + KK_f.$$

Знаходимо коефіцієнти характеристичного рівняння

Нехай:

$$T = 2, \tau = 3, a = 1, K = 1, K_f = 1.$$

Тоді:

$$a_3 = T\tau = 6$$

$$a_2 = T\tau a + T + \tau = 6 + 2 + 3 = 11$$

$$a_1 = (T + \tau)a + 1 = 5 + 1 = 6$$

$$a_0 = a + K K_f = 1 + 1 = 2.$$

Матриця Гурвіца та перевірка умов

Головні умови стійкості:

$$a_3 = 6 > 0$$

$$a_2 = 11 > 0$$

$$\Delta_2 = a_2 * a_1 - a_0 * a_3 = 11 * 6 - 2 * 6 = 66 - 12 = 54 > 0.$$

Висновок: Оскільки всі головні мінори додатні, система є стійкою за критерієм Гурвіца.

На рисунку 3.2 зображено перехідну характеристику моделі другого порядку замкненої САК. З графіка видно, що система демонструє стабільну поведінку, поступово сходяться до усталеного значення без самозбудження чи наростаючих коливань. Це свідчить про стійкість системи, а також підтверджує правильний підбір її параметрів. Такі характеристики є задовільними для практичного використання у системах автоматизованого оповіщення.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

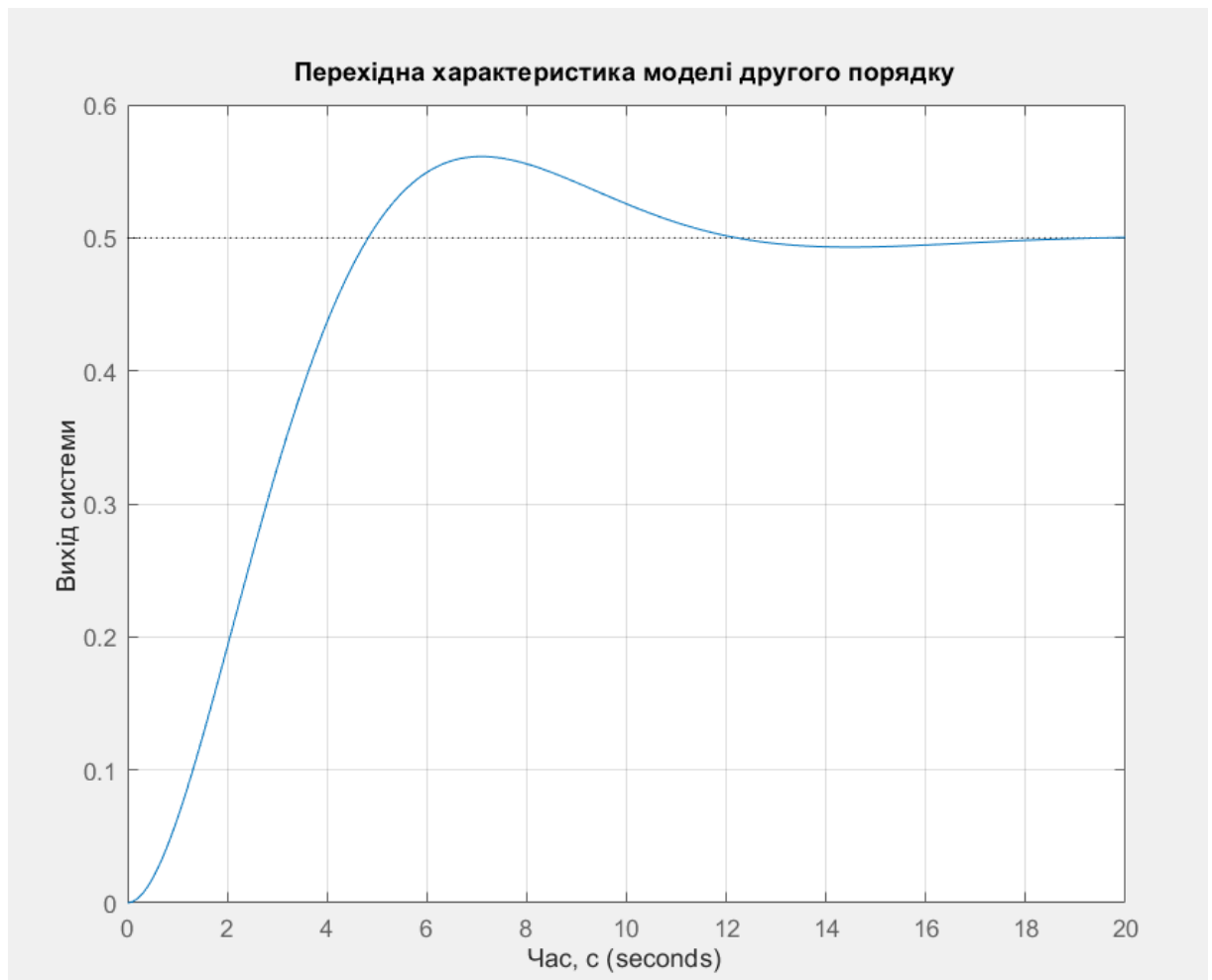


Рисунок 3.2 – Стійкість моделі другого порядку за критерієм Гурвіца

Висновки до розділу

У даному розділі було проведено синтез та аналіз одноконтурної системи автоматичного керування (САК) із використанням моделей першого та другого порядку. Як і передбачалося, модель першого порядку, попри спрощення математичних обчислень, виявилася нестійкою, що було підтверджено як графічно (на основі перехідної характеристики), так і аналітично — за допомогою критерію Гурвіца, який не був виконаний для цієї структури.

У той же час, модель другого порядку з урахуванням інерційності елементів, затримки в каналі зв'язку та фільтрації у зворотному зв'язку, показала стабільну та керовану поведінку. Перехідна характеристика такої системи засвідчила відсутність розбігання сигналу, належне згасання коливань та досягнення сталого значення без коливальних збурень.

Таким чином, можна зробити висновок, що модель другого порядку є більш придатною для подальшого застосування у процесах моделювання, аналізу та реалізації реальної автоматизованої системи централізованого оповіщення. Її використання дозволяє точніше врахувати динаміку системи та забезпечити надійне функціонування у межах заданих технічних вимог.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

4. ПРОЕКТНА СКЛАДОВА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

У цьому розділі здійснено детальне формування проектних рішень для впровадження місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) у Галицькій територіальній громаді. Перш за все обґрунтовано вибір основних технічних засобів — контролерів, виконавчих модулів, каналів зв'язку та допоміжного обладнання — на підставі аналізу функціональних вимог і середовищних умов експлуатації. Далі представлено структурні та електричні схеми, що відображають взаємозв'язки між компонентами системи, та розроблено рекомендації щодо монтажу, прокладання кабельних трас і захисту устаткування. Особлива увага приділяється питанням інтеграції місцевої МАСЦО з обласною системою оповіщення, а також організації резервування каналів живлення й зв'язку. Окремий підрозділ присвячено опису алгоритмів взаємодії автоматизованого робочого місця з блоками сиренного оповіщення, що забезпечує гарантовану передачу команд та оперативний моніторинг стану системи. У результаті цього розділу формується повний комплект проектної документації, необхідний для подальшої реалізації та введення системи в експлуатацію.

4.1 Вибір обладнання (БСО, АРМ, контролери, передача сигналу)

У проєкті як основний компонент системи централізованого оповіщення використано комплекс обладнання виробника Brand Master під торговою маркою Warning Audio. Ядром системи є контролер Warning Audio з інтегрованим GSM/LTE-модулем. Цей контролер приймає команди «Тривога» та «Відбій» із центрального диспетчерського пункту та передає їх далі по локальним виконавчим пристроям. Використання GSM/LTE гарантує безперервність керування навіть при пошкодженні дротової інфраструктури та забезпечує час відгуку системи до 3 секунд.

Виконавчими елементами системи є рупорні гучномовці WADL-200 зі вбудованим підсилювачем Warning Audio A-24-400. Вони забезпечують звуковий тиск до 110 дБ на відстані 10 метрів, що дозволяє охопити територію громади з

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

радіусом до 2,5 км. Для підтримки працездатності та захисту від перегріву використано адресний цифровий датчик температури та модуль моніторингу гучномовців, який контролює стан кабелів, рівень живлення та наявність аудіосигналу.

Живлення системи здійснюється через понижуючий перетворювач 24 В→12 В та мережевий фільтр для стабілізації напруги. У разі відключення мережі передбачено блок живлення з функцією UPS, який у парі з акумуляторними батареями 12 В 26 А·год та балансиrom зарядки 24 В забезпечує автономну роботу системи протягом не менше 24 годин у режимі чергування та 30 хвилин у режимі оповіщення.

Для резервного каналу передачі команд передбачено модуль розширення цифрового радіозв'язку стандарту DMR (RSU.WA), що інтегрується з контролером через інтерфейс RJ-45. DMR-модуль підтримує швидкість до 9,6 Кбіт/с і забезпечує покриття в радіусі до 5 км, що дозволяє зберігати зв'язок за умов відмови GSM-каналу.

Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора базується на промисловому ПК із встановленим програмним забезпеченням Warning Audio SCADA, яке забезпечує графічний інтерфейс управління, моніторинг стану БСО та журналювання подій. Використання сертифікованого ПЗ від виробника гарантує повну сумісність та легкість інтеграції з усіма компонентами системи.

Обране обладнання є оптимальним за співвідношенням «ціна/якість/надійність». Brand Master надає повний пакет документації українською мовою, професійне пусконаладження та технічну підтримку. Це дозволяє гарантувати довгострокову експлуатацію без простоїв та швидке усунення будь-яких несправностей.

4.2 Розробка функціональної схеми системи оповіщення

У процесі розробки місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) для Галицької територіальної громади особлива увага була приділена побудові функціональної схеми (рис. 4.2.1), що відображає всю ієрархію управління та логіку передачі сигналів між різними рівнями системи. Ця

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

схема дозволяє чітко бачити, як надходить команда “тривога” від обласного центру, яким чином вона маршрутизується через центральний диспетчерський пункт і віртуальний сервер, а далі — по різних каналах зв’язку — до автоматизованого робочого місця (АРМ) громади та безпосередньо до блоків сиренного оповіщення (БСО) у кожному населеному пункті.

На верхньому рівні функціональної схеми розміщено ТАСЦО Івано-Франківської області — обласний пункт керування (РС.ВА), який формує та надсилає сигнал тривоги. Одночасно від ТАСЦО працюють два канали зв’язку: традиційний Ethernet-канал (LAN) до віртуального сервера з програмним забезпеченням «Стфалкон СКС» та прямий GSM/LTE-зв’язок із АРМ в с. Галич. Віртуальний сервер виступає центром збору статистики, архівації та розподілу повідомлень: він отримує команду від ТАСЦО, логічно аналізує її та перенаправляє далі як по провідним (LAN, К-SAT), так і по бездротовим каналам (2G/4G, DMR).

Далі команда надходить на автоматизоване робоче місце оператора (АРМ, модель WS.WA-B), розташоване в м. Галич. АРМ виконує роль локального диспетчера: воно відображає карту всієї громади, візуалізує стан кожного блоку оповіщення, контролює наявність резервних та основних каналів зв’язку й дозволяє оператору запускати ручний пуск у разі потреби. До АРМ приходять одночасно чотири незалежні канали зв’язку: основний — через GSM/LTE, резервний — через LAN та через супутниковий К-SAT, а також через цифровий радіоканал DMR (модуль RSU.WA). Завдяки такому потрібному дублюванню сигналу система забезпечує стійкість до будь-яких відмов зовнішніх мереж.

На базі АРМ логічно поділено шість черг будівництва, кожна з яких охоплює окремий населений пункт: м. Галич, с. Залужжя, с. Медуні, с. Шевченкове, с. Крилос та с. Комарів. Для кожної черги передбачений свій БСО — моделі WBS.WA-800-B у Галичі та WBS.WA-400-B у сільських пунктах. У кожному БСО вмонтовано підсилювач Warning Audio A-24-400, цифровий датчик температури та модуль контролю працездатності гучномовців. До кожного блоку підведено чотири лінії керування: GSM/LTE, LAN, DMR і кабель для ручного пуску. При

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

надходженні команди “тривога” з АРМ кожен блок автоматично активує гучномовці WADL-200, які видають звуковий сигнал на відкритій місцевості. Ручний пуск забезпечується окремою кнопкою на шафі БСО, що дозволяє незалежно від АРМ протестувати або запустити систему локально.

Праворуч від основної діаграми показано, як БСО місцевої громади може інтегруватися із спеціалізованими та об’єктовими системами інших рівнів: спеціальні сирени у лікарнях, навчальних закладах чи критичних об’єктах цивільного захисту можуть підключатися до тих самих каналів і отримувати команди одночасно з центральними станціями.

Таким чином, функціональна схема демонструє:

- подвійне (а фактично потрійне) резервування каналів передачі команд;
- чітку ієрархію від обласного пункту керування ТАСЦО до АРМ та шести локальних БСО;
- можливість як автоматичного, так і ручного запуску сирен;
- інтеграцію місцевого рівня з об’єктовими та спеціалізованими системами оповіщення.

Ця схема є наочним документом для подальшої розробки детальних робочих креслень, кабельних журналів та налаштування програмного забезпечення, оскільки поєднує технічні характеристики всіх компонентів із реальними умовами експлуатації у громаді.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

комутаційні елементи, модулі живлення, реле керування та підсилювачі потужності. Вхід до кожного БСО забезпечується трьома основними каналами: GSM/LTE (для основного керування), LAN (для локального провідного підключення до АРМ) і DMR (для резервного радіозв'язку). Усі ці лінії заведено до відповідних модулів у БСО, що дозволяє забезпечити автоматичну маршрутизацію команд за принципом пріоритетного каналу.

Монтажна схема передбачає, що кожен БСО підключений до власної групи гучномовців WADL-200, які розташовуються радіально по території покриття. Гучномовці з'єднуються з підсилювачем Warning Audio A-24-400, розміщеним у тій самій шафі. Для цього використовується високоякісний акустичний кабель із екрануванням, прокладений у захисних гофрованих трубах ПВХ, що відповідає класу захисту IP55 і вище.

Живлення кожного БСО реалізовано через окрему монтажну лінію від трансформаторної підстанції 220 В, що перетворюється на стабілізовані 24 В за допомогою блока живлення з функцією UPS. У ланцюзі живлення передбачено понижуючий перетворювач 24В → 12В для контролера, а також підключення акумуляторних батарей 12В 26А·г, з'єднаних балансіром 24В. Усі силові з'єднання мають гальванічну розв'язку та захищені комутаційними запобіжниками.

Сигнальні кабелі (DMR, LAN, GSM-модуль, ручний пуск) заведені окремо від силових у відповідні клемники, з обов'язковим маркуванням згідно зі схемами виконання. Ручний пуск підключено через герметичний кнопковий пульт, виведений на передню панель шафи БСО. Ця функція дозволяє здійснювати локальне включення тривоги незалежно від основного керування.

Усі зовнішні схеми передбачають типову кольорову ідентифікацію, таблицю з'єднань, номери проводів та блоків, що дозволяє здійснити подальшу інвентаризацію та підтримку об'єктів. Монтажне виконання враховує висоту установки шаф, заземлення, розміщення джерел живлення та правила захисту від перенапруги.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Таким чином, схема зовнішніх з'єднань розроблена згідно з чинними вимогами до телекомунікаційних і енергетичних систем у сфері цивільного захисту, враховує технічні характеристики обладнання Warning Audio та специфіку впровадження в умовах децентралізованої територіальної громади. Її використання забезпечить стабільну роботу системи в штатному й аварійному режимах, з можливістю оперативного технічного обслуговування та розширення.

4.4 Оцінка надійності системи

Основним критерієм ефективності місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення є її здатність безперервно виконувати покладені функції в умовах звичайної експлуатації та в екстрених ситуаціях. У проєкті Галицької громади надійність досягається за рахунок багаторівневого резервування як каналів передачі команд, так і джерел живлення. Поєднання різних технологій зв'язку – GSM/LTE, Ethernet (LAN), супутникового каналу K-SAT та цифрового радіоканалу DMR – забезпечує стійкість до будь-яких порушень мережевої інфраструктури. Кожна команда «тривога» дублюється трьома незалежними шляхами, що гарантує її доставку навіть у разі виходу з ладу одного або двох каналів. Така архітектура дозволяє підтримувати зв'язок між автоматизованим робочим місцем (АРМ) та блоками сиренного оповіщення (БСО) на рівні доступності не менше 99,9 % часу.

Живлення системи реалізовано за принципом резервування «гаряча зміна»: основним джерелом є мережа змінного струму 220 В через блок живлення з функцією UPS і мережевим фільтром, а резервним – акумуляторні батареї 12 В 26 А·год, з'єднані через балансир зарядки 24 В та понижуючий перетворювач 24 В→12 В. У штатному черговому режимі система здатна підтримувати роботу АРМ і всіх БСО протягом 24 годин без зовнішнього живлення, що відповідає вимогам безперервності контролю. У режимі безпосереднього оповіщення – коли активуються підсилювачі та гучномовці – резервні акумулятори забезпечують мінімум 30 хвилин безперервної трансляції тривожних сигналів чи мовних повідомлень. Така тривалість покриває потреби екстрених служб для вчасного реагування та евакуації.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Ще одним аспектом підвищення надійності є моніторинг стану всіх ключових елементів системи в реальному часі. Завдяки вбудованим датчикам температури, контролерам живлення та модулю контролю працездатності гучномовців, АРМ отримує оперативні дані про стан кабельних ліній, рівень заряду батарей та справність усіх підсилювачів. Автоматичне оповіщення екіпажів технічного обслуговування про відхилення будь-якого з параметрів дозволяє своєчасно усувати дефекти ще до виникнення критичних ситуацій.

Таким чином, комплексний підхід до резервування каналів зв'язку та джерел живлення, а також постійний дистанційний моніторинг стану обладнання гарантує високий рівень надійності МАСЦО в Галицькій громаді. Реалізовані технічні рішення забезпечують безперервну роботу системи в усіх режимах експлуатації та відповідають нормативним вимогам щодо безпеки та ефективності оповіщення населення під час надзвичайних подій.

У додаток до описаних вище механізмів резервування і моніторингу, оцінка надійності системи передбачає й формалізовані показники експлуатаційної придатності обладнання. Зокрема, середній термін служби всіх активних елементів МАСЦО — від контролера Warning Audio до блоків сиреного оповіщення та підсилювачів — становить не менш як 12 років. Це означає, що за умови дотримання регламентів технічного обслуговування та періодичного оновлення програмного забезпечення, сукупний комплект обладнання здатен працювати без необхідності повної заміни протягом понад одного технічного циклу.

Ще одним ключовим показником є середній наробіток до відмови (MTBF) — не менше ніж 15 000 годин. Такий рівень безвідмовності досягається завдяки вибору компонентів промислового класу, які пройшли сертифікаційні випробування та оснащені захисними механізмами (стабілізатори напруги, термозахист, багаторівневі фільтри). MTBF у 15 000 годин гарантує, що навіть за інтенсивного циклу спрацьовувань у надзвичайних ситуаціях обладнання в середньому потребуватиме втручання не раніше ніж через 1,7 року безперервної роботи.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Нарешті, середня тривалість відновлення працездатності після появи критичної несправності обмежується 0,5 години. Це включає час на виявлення несправності через систему моніторингу, повідомлення технічного персоналу, прибуття на об'єкт, заміну або ремонт дефектного модуля та повторне тестування. Такий короткий час відновлення забезпечує практично безперервність роботи МАСЦО навіть у разі раптової поломки одного з ключових елементів, що є критичним для оперативного оповіщення населення при виникненні надзвичайних подій.

4.5 Експериментальні дослідження характеристик гучномовців WADL-200

Для підтвердження відповідності вибраного виконавчого обладнання технічним вимогам до системи централізованого оповіщення було проведено дослідження характеристик гучномовців WADL-200 (рис. 4.5.1), що застосовуються у складі БСО. Зокрема, досліджено полярну діаграму направленості та амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) даних гучномовців.

Випробування гучномовців WADL-200 проводилися за стабільних кліматичних умов: температура навколишнього повітря підтримувалася в межах 15,6–22,3 °С, відносна вологість — 37–61 %, атмосферний тиск — 98,2–101,2 кПа. Об'єктом дослідження були два гучномовці WADL-200, виконані в пластиковому корпусі з АВС-пластику, встановлені комбінацією з двох одиниць та спрямовані в один бік. Для порівняння було також проведено аналогічні вимірювання за умов комбінації чотирьох гучномовців, об'єднаних у єдину спрямовану групу.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

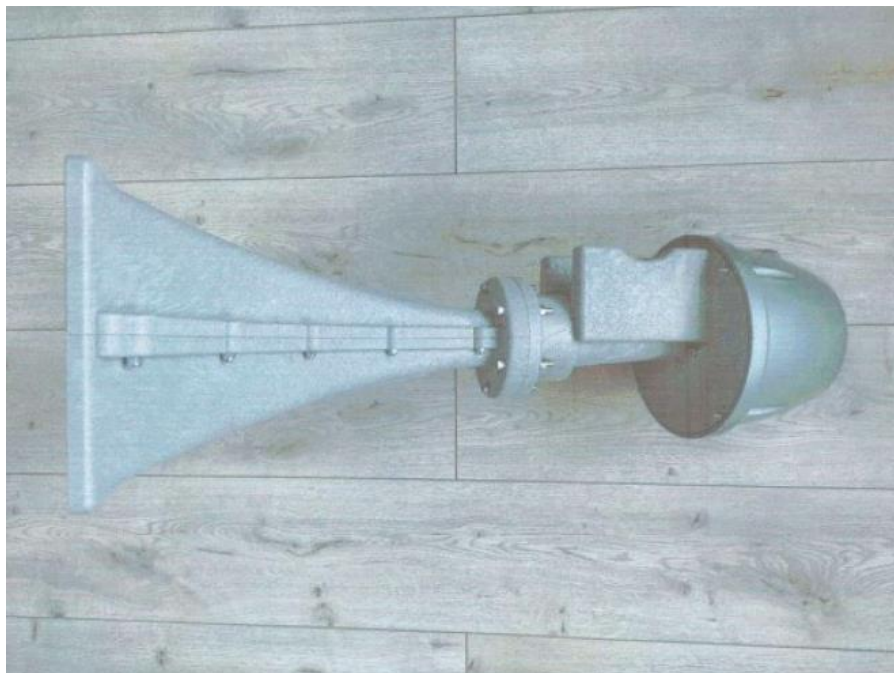


Рисунок 4.1 – Вигляд гучномовця WADL-200 збоку

Максимальний звуковий тиск для одного гучномовця при потужності 1 Вт на відстані 1 м становив 119,2 дБ. Після перерахунку на номінальну потужність 200 Вт, характерну для одного WADL-200, рівень звукового тиску на відстані 1 м зріс до 141,8 дБ. При віддаленні на 30 м від джерела цей же параметр становив 112,3 дБ, що перевищує нормативні вимоги для відкритих просторів із фоновим шумом до 65 дБ.

Результати випробувань для комбінації чотирьох гучномовців показали подібні закономірності: сукупний звуковий тиск зростав відповідно до квадратного кореня із загальної потужності, що підтверджує ефективність масштабування системи оповіщення при збільшенні кількості пристроїв у одній зоні.

Отримані дані полярної діаграми направленості (рис. 4.5.2 та рис. 4.5.3) та амплітудно-частотної характеристики (рис. 4.5.4 та рис. 4.5.5) для двох конфігурацій підтверджують відповідність гучномовців WADL-200 технічним вимогам про охоплення зони оповіщення з радіусом до 2,5 км та забезпеченням зрозумілості мовного повідомлення у діапазоні 300 – 4000 Гц. Це дозволяє рекомендувати дану модель для використання в локальних автоматизованих системах централізованого оповіщення.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

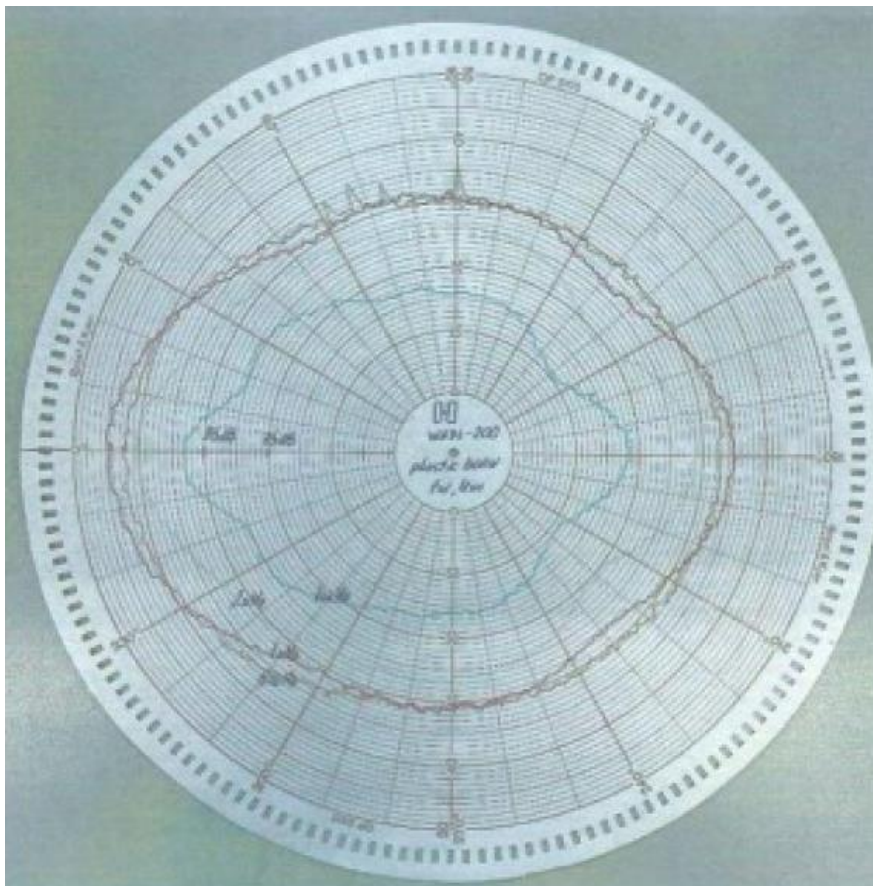


Рисунок 4.2 – Полярна діаграма направленості гучномовця WADL-200
(2 одиниці, направлення: в одну сторону)

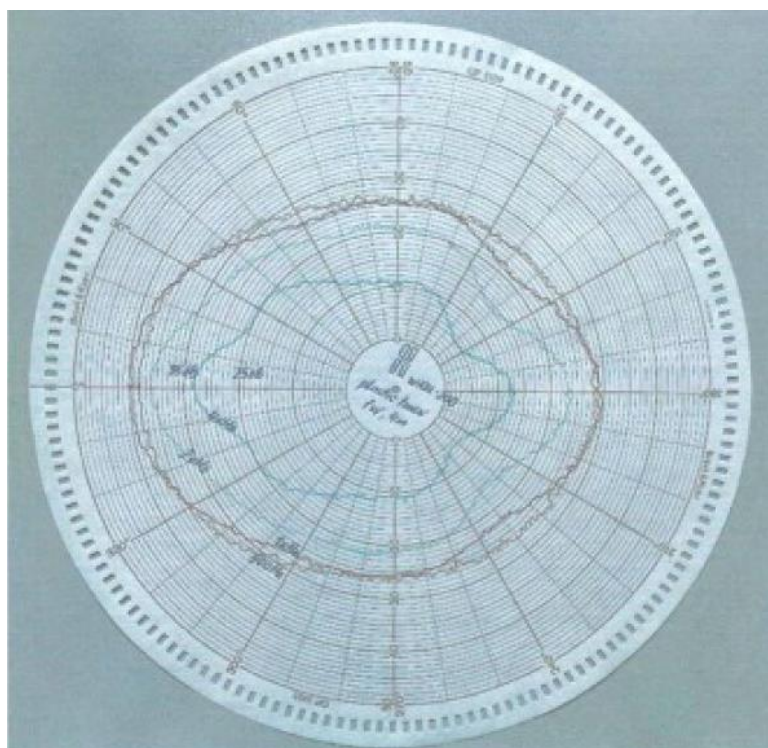


Рисунок 4.3 – Полярна діаграма направленості гучномовця WADL-200
(4 одиниці, направлення: в одну сторону)

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

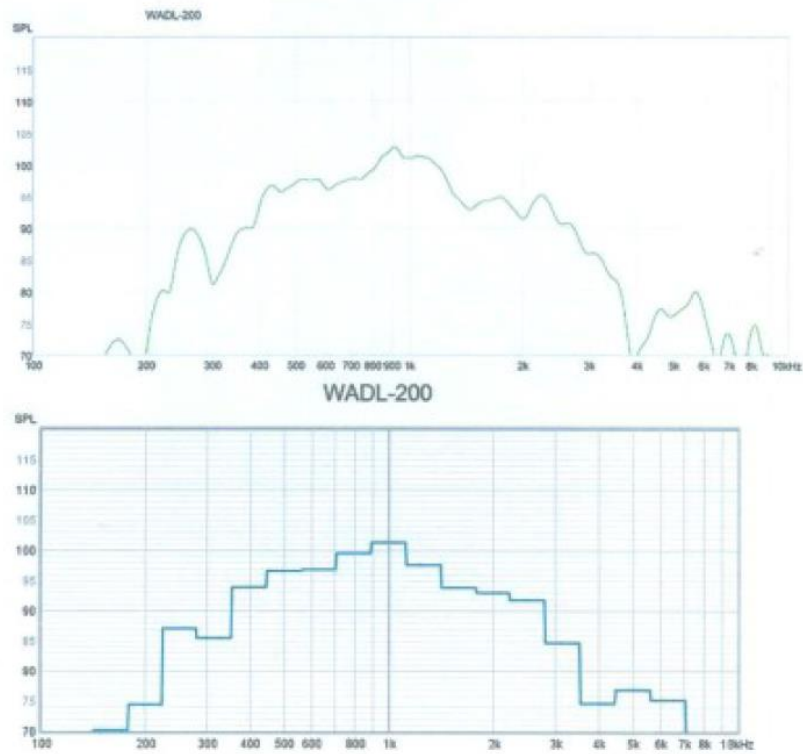


Рисунок 4.4 – Амплітудно частотна характеристика гучномовців WADL-200
(2 одиниці, направлення: в одну сторону)

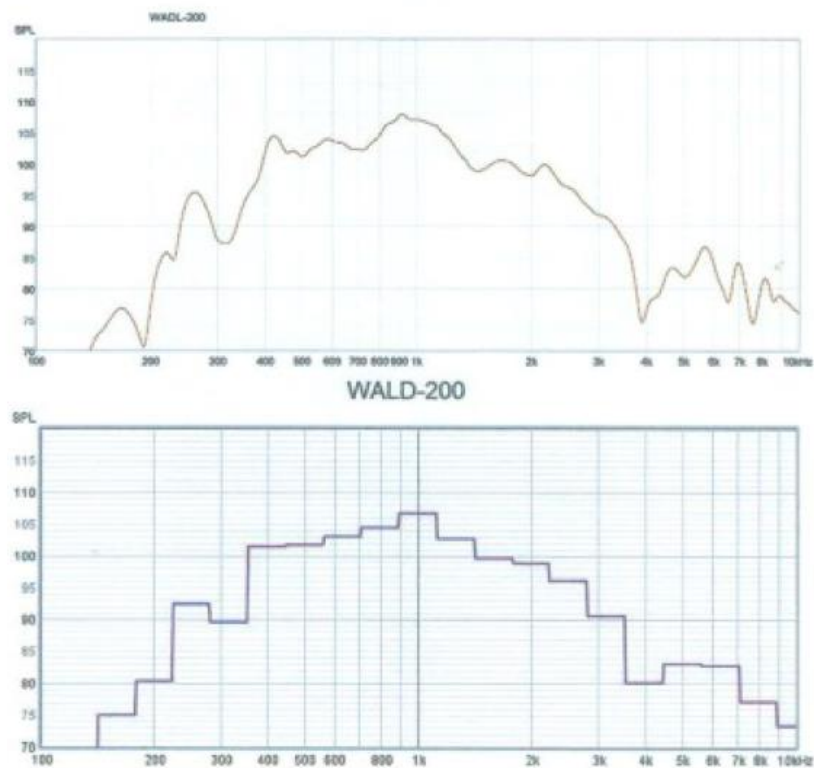


Рисунок 4.5 – Амплітудно частотна характеристика гучномовців WADL-200
(4 одиниці, направлення: в одну сторону)

4.6 Приблизний кошторис реалізації МАСЦО

З метою оцінки економічної доцільності та реалістичності впровадження місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) в межах Галицької територіальної громади було складено орієнтовний кошторис, заснований на офіційних прайсах виробника обладнання — компанії Brand Master (торгова марка Warning Audio). Розрахунок охоплює лише основні технічні елементи системи, а також передбачає стандартний перелік монтажних і пусконаладжувальних робіт.

У проєкті передбачено встановлення одного автоматизованого робочого місця оператора (АРМ), яке є центральним керівним елементом системи. Згідно з наданими виробником даними, вартість одного АРМ становить 225 000 гривень. До його складу входить промисловий комп'ютер, ліцензійне програмне забезпечення для керування та моніторингу, апаратно-програмна платформа для взаємодії з усіма блоками сиренного оповіщення (БСО), а також периферійне обладнання.

Для покриття населених пунктів громади у проєкті закладено п'ять блоків сиренного оповіщення WBS.WA-400-B та два блоки WBS.WA-800-B. Блоки серії 400 призначені для сільських територій, де достатньо меншої потужності й дальності звукового сигналу. Натомість блоки серії 800 забезпечують потужніше звучання й використовуються в міських зонах з підвищеною щільністю населення або складним рельєфом. Вартість одного БСО-400 становить 317 000 гривень, одного БСО-800 — 428 000 гривень.

Крім базових елементів, система включає ряд супутнього обладнання: гучномовці WADL-200, підсилювачі, джерела безперебійного живлення, модулі DMR-зв'язку, температурні датчики, комунікаційні інтерфейси. Вартість усіх допоміжних компонентів частково входить у комплектацію БСО, однак потребує додаткових витрат на монтажні матеріали, електропостачання, прокладку кабелів, кріплення, земляні або будівельні роботи (за потреби), а також налаштування та технічне введення в експлуатацію.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

З огляду на практику реалізації подібних проєктів в інших громадах України, обсяг допоміжних витрат зазвичай становить не менше 10–15 % від вартості основного обладнання. У нашому випадку цей показник прийнято на рівні 266 000 гривень, що є консервативною оцінкою.

Таким чином, загальна орієнтовна вартість проєкту впровадження МАСЦО становить:

АРМ: 225 000 грн

БСО-400: 1 585 000 грн

БСО-800: 856 000 грн

Додаткові витрати: 266 000 грн

Загальна сума: 2 932 000 грн

Ця сума є попередньою і підлягає уточненню після детального обстеження об'єктів, формування монтажних маршрутів, погодження особливостей підключення, типу кріплень та точного складу виконавців робіт. Водночас, даний кошторис демонструє, що впровадження системи сучасного рівня оповіщення в межах однієї громади є досяжним за наявності цільового фінансування з обласного чи державного бюджету, або ж за підтримки донорських програм у сфері цивільного захисту.

4.7 Оцінка охоплення населення системою оповіщення

Для оцінки ефективності запропонованої МАСЦО необхідно розрахувати частку населення, яка потрапляє в зони дії встановлених блоків сиреного оповіщення. Вихідними даними стали офіційні статистичні показники чисельності населення за даними ДСНС для окремих населених пунктів Галицької громади:

- м. Галич – 6 110 осіб
- смт Вікторів – 1 649 осіб
- с. Залуква – 2 437 осіб
- с. Шевченкове – 145 осіб
- с. Комарів – 1 471 особа

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

- с. Крилос – 1 684 особи

- с. Мединя – 1 546 осіб

Загальна чисельність населення громади становить 21 150 осіб.

Сумарна частка мешканців, які проживають у безпосередній зоні покриття запланованих семи БСО, обчислюється як сума населення цих пунктів:

$$6\,110 + 1\,649 + 2\,437 + 145 + 1\,471 + 1\,684 + 1\,546 = 15\,042 \text{ особи}$$

Відповідно до цього, частка охоплення населення становить:

$$15\,042 \div 21\,150 \times 100\% \approx 71,1\%$$

Таким чином, система забезпечить оперативне оповіщення близько 71% мешканців громади за рахунок наявної конфігурації БСО.

4.8 Можливості подальшого розвитку

Одним із ключових напрямів модернізації є розширення мережі блоків сиреного оповіщення для досягнення повного охоплення території громади. Додаткові БСО можуть бути встановлені у віддалених населених пунктах та мікрорайонах із недостатнім рівнем звукового покриття, що забезпечить своєчасне інформування кожного мешканця. При цьому варто врахувати існуючу інфраструктуру та можливість підведення живлення і каналів зв'язку.

Гнучка архітектура програмно-технічного комплексу дозволяє масштабувати систему без значних змін у базовій конфігурації: нові вузли підключаються через наявні канали DMR, LAN або GSM/LTE, що мінімізує витрати на додаткове обладнання. Це рішення забезпечує поступове розширення МАСЦО на всю територію Галицької громади відповідно до наявних бюджетних та інфраструктурних можливостей.

Оптимізація розташування гучномовців із урахуванням рельєфу і вимірів фонового шуму є важливим кроком для підвищення ефективності системи. Проведення додаткових геодезичних та акустичних досліджень дозволить скоригувати кути спрямованості та висоту монтажу гучномовців, запобігти зоні “акустичної тіні” і забезпечити однорідне звукове поле у населених пунктах з різними фізично-географічними умовами.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Інтеграція об'єктових та спеціалізованих систем оповіщення (наприклад, у медзакладах, школах, адміністративних будівлях) до єдиної територіальної мережі МАСЦО сприятиме підвищенню загальної оперативності реагування на надзвичайні ситуації. Використання стандартних інтерфейсів дозволить організувати централізоване керування всіма рівнями оповіщення, що значно поліпшить координацію між службами та органами місцевої влади.

Висновки до розділу

У четвертому розділі було детально опрацьовано практичні аспекти впровадження місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення для умов Галицької територіальної громади. В основу проєктних рішень покладено перевірені технічні рішення на базі обладнання компанії «Бранд Мастер», зокрема базові станції оповіщення, гучномовці, контролери, системи резервного живлення та засоби комунікації. Здійснено технічне обґрунтування кожного елемента з урахуванням їх характеристик, надійності та сумісності в межах єдиної архітектури.

Функціональна схема системи оповіщення охоплює ключові взаємозв'язки між пристроями, що забезпечують оперативну передачу сигналів на рівні АРМ – БСО – гучномовці. Монтажні схеми та зовнішні підключення розроблено з урахуванням простоти реалізації та технічної зручності обслуговування. Проведено оцінку надійності системи, включно з аналізом резервного живлення та зв'язку, що гарантує стабільну роботу навіть у надзвичайних умовах.

У межах розділу також проаналізовано експериментальні дослідження характеристик гучномовців WADL-200, включно з побудовою полярної діаграми та АЧХ, що підтверджують відповідність заявленим характеристикам виробника. Окремо розглянуто питання вартості впровадження системи: побудовано орієнтовний кошторис, який демонструє економічну доцільність впровадження на першому етапі проєкту.

Також виконано оцінку охоплення населення системою, що показало ефективне покриття ключових населених пунктів громади. Передбачено потенційне масштабування системи з метою повного покриття території та

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

підвищення стійкості до ризиків. Проектна складова підтверджує реалістичність та ефективність запропонованої концепції з точки зору технічної реалізації, вартості та соціального впливу.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було розроблено проєкт місцевої автоматизованої системи централізованого оповіщення (МАСЦО) для Галицької територіальної громади Івано-Франківської області. Розглянуто та обґрунтовано вибір ключового обладнання — контролера Warning Audio з GSM/LTE-модулем, гучномовців WADL-200 із підсилювачем А-24-400, модулів DMR, а також джерел живлення з функцією UPS й акумуляторних батарей 12 В, 26 А·год. Обрані рішення забезпечують поєднання високої надійності, доступності обслуговування та економічної доцільності.

Функціональна схема системи і схеми зовнішніх з'єднань чітко демонструють, як організовано багаторівневе резервування каналів зв'язку (GSM/LTE, LAN, K-SAT, DMR), а також резервування живлення (UPS + акумулятори). Це гарантує доставку сигналу тривоги впродовж 2–3 секунд, стійку роботу обладнання в черговому режимі протягом 24 годин і можливість безперервного оповіщення протягом 30 хвилин за відсутності основного живлення.

Оцінка надійності підтвердила, що середній термін служби обладнання складає не менше ніж 12 років, середній наробіток до відмови (MTBF) — не менше ніж 15 000 годин, а середня тривалість відновлення працездатності обмежується 0,5 години. Завдяки цьому МАСЦО відповідає найвищим вимогам цивільного захисту та може функціонувати при інтенсивній експлуатації без значних простоїв.

Практична цінність роботи полягає в тому, що розроблений комплект робочих креслень, електричних та функціональних схем, специфікацій обладнання і інструкцій з монтажу й експлуатації може бути безпосередньо використаний органами місцевого самоврядування для впровадження системи оповіщення. Це сприятиме підвищенню рівня безпеки населення та оперативності реагування під час надзвичайних подій.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Крім того, завдяки модульній архітектурі та підтримці кількох каналів зв'язку й гнучких налаштувань програмного забезпечення, розроблена МАСЦО є масштабованою та відкритою для подальших удосконалень. У майбутньому систему можна легко розширити на всю територію Галицької громади, інтегрувавши нові блоки оповіщення або додаткові об'єктові рішення, забезпечуючи таким чином комплексний захист усього регіону.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. ДСТУ EN ISO 7731:2016 “Ергономіка. Сигнали небезпеки для місць громадського призначення та робочого простору. Звукові сигнали небезпеки”. [Електроний ресурс]. – URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68086
2. ДСТУ ІЕС 61672-1:2017 “Електроакустика. Вимірювачі рівня звуку. Частина 1. Загальні технічні вимоги”. [Електроний ресурс]. – URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74822
3. ДСТУ ISO 22322:2017 “Соціальна безпека. Управління у надзвичайних ситуаціях. Методичні рекомендації щодо оповіщення населення”. [Електроний ресурс]. – URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=95230
5. ДСТУ 2226-93 “Автоматизовані системи. Терміни та визначення”. [Електроний ресурс]. – URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61937
6. Warning Audio (Бренд-Мастер), сертифікація МАСЦО згідно ДСТУ EN 54-4 і EN 54-24.
7. Лагойда А.І., Когутяк М.І. Програмно-технічні комплекси та програмне забезпечення автоматизованих систем управління технологічними процесами. Івано-Франківськ, 2023.
8. Когутяк М.І., Лагойда А.І. Програмовані логічні контролери (PLC): навч. посібник. Івано-Франківськ, 2016.
9. Фешанич Л.І., Борин В.С. Проектування комп’ютерно-інтегрованих систем автоматизації: лаб. практикум. Ч. 1–2. Івано-Франківськ, 2023.
10. Чигур І.І., Чигур Л.Я. Інтелектуальні системи керування технологічними процесами: навч. посіб. Івано-Франківськ, 2023.

					БР.АКП-19.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62