

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	6
1.1 Огляд концепції «Розумного будинку»	6
1.2 Огляд та аналіз бездротових систем проекту “Розумний дім”	10
1.3 Висновки до розділу 1	22
2 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	24
2.1 Загальні положення при виборі типів пожежних датчиків	24
2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації пожежної безпеки 2-х кімнатної квартири «Розумний дім»	29
2.3 Вибір обладнання пожежної безпеки 2-х кімнатної квартири «Розумний дім»	34
2.4 Висновки до розділу 2	48
3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ.....	50
3.1 Розробка схеми КТС підключення обладнання пожежної безпеки	50
3.2 Розробка програми бездротової системи пожежної безпеки на базі контролера Ардуїно	52
3.3 Опис роботи системи пожежної безпеки для ЖК "Розумний дім"	55
3.4 Висновки до розділу 3	58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на робочому місці.....	60
4.2 Висновки до розділу 4	67
ВИСНОВКИ	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71
ДОДАТКИ	72

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах урбанізації та динамічного розвитку будівельної індустрії концепція «інтелектуальної будівлі» перетворилася з елемента розкоші на базову інженерну потребу. Побутова автоматизація, відома як технологія «Розумний дім» (Smart Home), є інтегрованою екосистемою, яка на основі периферійних пристроїв, мікроконтролерів та мережових протоколів вирішує комплексні завдання підвищення комфорту, енергоефективності та безпеки житлового простору.

Попри значну кількість комерційних рішень на ринку, проблема забезпечення техногенної, зокрема пожежної безпеки безпосередньо всередині індивідуального житлового фонду (квартир житлових комплексів) залишається розв'язаною не повною мірою. Більшість промислових протипожежних комплексів орієнтовані на великі офісні, виробничі чи торгові об'єкти, а їх інсталяція в окремих житлових приміщеннях є фінансово та технічно недоцільною для пересічних мешканців. До того ж традиційні дротові системи безпеки мають жорсткі обмеження: вони потребують капітального руйнування стін і прокладання кабельних трас, що практично унеможлиблює їх інтеграцію в приміщеннях із завершеним чистовим ремонтом. Водночас за відсутності власника квартири можливість оперативно реагувати на аварійну ситуацію (наприклад, витік природного газу, задимлення чи загоряння) через локальні засоби сповіщення зводиться до мінімуму.

Критичний аналіз існуючих підходів свідчить про наявність технологічного розриву між високою вартістю готових бездротових екосистем (таких як Broadlink або пропрієтарні Z-Wave рішення) та потребою створення доступної, гнучкої і надійної вітчизняної системи протипожежного захисту. Шляхом розв'язання цієї проблеми є проектування бездротової системи управління безпекою на базі платформ з відкритим програмним кодом (Open-source) та використанням загальнодоступних каналів стільникового зв'язку. Застосування технологій GSM та DTMF дозволяє організувати не лише миттєве двостороннє передавання інформації між квартирою та користувачем, а й забезпечити віддалене зворотне

керування виконавчими механізмами з будь-якої точки планети за допомогою звичайного мобільного телефона, незалежно від наявності швидкісного Інтернету.

Обґрунтування значення роботи для розвитку галузі знань полягає у розширенні архітектурних підходів до побудови систем індивідуального протипожежного захисту в межах багатоквартирних житлових комплексів. Створення недорогої, масштабованої та енергоефективної системи на базі мікроконтролерів мінімізує вплив людського фактора, суттєво знижує ризики травматизму й матеріальних збитків у житловому секторі та закладає підґрунтя для інтеграції локальних квартирних вузлів у загальнобудинкові інтелектуальні мережі.

На відміну від існуючих вітчизняних та зарубіжних аналогів, запропоноване рішення базується на гібридному поєднанні локального дротового інтерфейсу периферії з бездротовим стільниковим каналом зв'язку. Новизна результатів полягає у реалізації алгоритму зворотного керування виконавчим обладнанням (водяними розпилювачами) за допомогою тональних DTMF-команд під час активного телефонного з'єднання, що гарантує доставку сигналу навіть в умовах низької пропускної спроможності радіомережі та повної відсутності інтернет-покриття. Окрім того, досягнуто високої економічної оптимізації завдяки використанню комбінованого напівпровідникового датчика газу та диму MQ-2, що дозволяє замінити кілька вузькоспеціалізованих сенсорів одним технічним пристроєм.

Вихідними даними для виконання роботи є:

- Технічні та архітектурно-планувальні характеристики об'єкта автоматизації — двокімнатної житлової квартири загальною площею 85 м².
- Нормативно-правова база та державні стандарти України щодо проектування пожежної сигналізації, зокрема ДБН та ДСТУ, що регламентують просторове розташування точкових пожежних сповіщувачів під перекриттям.
- Технічні специфікації електронних компонентів: мікроконтролера Arduino, напівпровідникового сенсора серії MQ-2, плат розширення Troyka Shield та модулів DTMF-декодування.

- Стандарти цифрового мобільного стільникового зв'язку GSM (IEEE 802.15.4 та специфікації TDMA/FDMA).

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого моніторингу та управління станом пожежної безпеки житлового приміщення в структурі сучасного житлового комплексу.

Предметом дослідження є фактори впливу на об'єкт автоматизації, архітектура побудови апаратно-програмних засобів, алгоритми обробки телеметричних даних мікроконтролером Arduino та методи реверсивного дистанційного керування за допомогою бездротових технологій GSM/DTMF.

Мета дослідження – покращення експлуатаційних властивостей, показників надійності та доступності систем протипожежного захисту індивідуального житла шляхом розроблення та програмно-апаратної реалізації оптимізованої бездротової системи управління «Розумний дім» на базі доступної мікропроцесорної техніки з функцією віддаленого оповіщення і зворотного тонального керування виконавчим обладнанням.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання дослідження**:

1. Провести системний огляд, порівняльний аналіз та узагальнення існуючих технологій і апаратних платформ проекту «Розумний дім».
2. Розробити функціональну схему автоматизації протипожежного захисту та витоку газу для двокімнатної квартири відповідно до вимог чинних нормативних стандартів.
3. Обґрунтувати вибір елементної бази, включаючи вимірювальні датчики, центральний контролер та комунікаційні модулі, а також виконати розрахунок метрологічних характеристик датчика MQ-2.
4. Спроекувати схему комплексу технічних засобів для підключення периферійного обладнання системи безпеки до керуючої електроніки.
5. Розробити алгоритми функціонування системи та програмне забезпечення для контролера «Ардуіно», що забезпечує збирання даних, детектування аварій, надсилання телефонного виклику та декодування DTMF-

команд.

6. Створити та протестувати діючий макет бездротової системи протипожежної безпеки для підтвердження працездатності закладених технічних рішень.

7. Дослідити питання охорони праці та безпеки життєдіяльності під час проектування та експлуатації розроблених засобів автоматизації.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у роботі застосовано комплекс наукових та інженерних методів:

- *Методи системного та порівняльного аналізу* – під час дослідження сучасного ринку мікроконтролерів, датчиків та бездротових протоколів зв'язку для обґрунтування оптимальної структури системи.
- *Методи математичного моделювання та метрологічного розрахунку* – для визначення статичних та динамічних характеристик напівпровідникового сенсора діоксиду олова в датчику MQ-2.
- *Теорію автоматичного керування та методи алгоритмізації* – під час побудови логіки взаємодії елементів системи, розроблення граф-схем алгоритмів та написання програмного коду для середовища Arduino IDE.

Практична цінність отриманих результатів полягає у створенні повністю працездатного, бюджетного та відкритого до модернізації прототипу бездротової системи протипожежного захисту квартири. Розроблена конструкторська документація, функціональні схеми, а також алгоритми і програмний код мікроконтролера можуть бути безпосередньо використані інженерними компаніями під час проектування систем автоматизації житлового фонду, а також приватними особами для самостійного підвищення рівня безпеки житла. Результати розрахунків топології розміщення датчиків з урахуванням конвекції та геометрії стелі мають практичне значення для оптимізації монтажу пожежних сповіщувачів в умовах сучасних планувань квартир. Окрім того, матеріали роботи можуть слугувати методичним підґрунтям для лабораторних практикумів із дисциплін автоматизації та проектування мікропроцесорних систем у закладах вищої освіти.

1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд концепції «Розумного будинку»

Концепція «Розумного будинку» (Smart Home) являє собою інтегровану інженерно-технічну екосистему, яка базується на використанні периферійних пристроїв із постійним доступом до глобальної мережі Інтернет для здійснення дистанційного моніторингу, координації та проактивного управління різноманітними внутрішньодомовими комунікаціями, зокрема комплексами штучного освітлення, мікрокліматичного опалення, вентиляції та іншими підсистемами забезпечення життєдіяльності.

Зазначений комплекс технологій, який у фаховій літературі часто класифікують як систему домашньої автоматизації або побутової інтелектуальної техніки, гарантує сучасному користувачеві підвищений рівень комплексної безпеки, ергономіки, експлуатаційного комфорту та енергоефективності. Реалізація цих переваг досягається шляхом централізованої взаємодії з виконавчим обладнанням через спеціалізоване програмне забезпечення (мобільні додатки), встановлене на смартфонах, планшетах чи інших мережевих терміналах. Будучи фундаментальним компонентом концепції Інтернету речей (IoT), елементи інтелектуальної будівлі функціонують у безперервному взаємозв'язку: вони здійснюють постійний крос-платформний обмін телеметричними даними, аналізують поведінкові патерни мешканців і на основі зібраної інформації автоматично оптимізують робочі сценарії під індивідуальні уподобання власника нерухомості.

Головним і найбільш очевидним аргументом на користь розгортання систем домашньої автоматизації є забезпечення психологічного комфорту та впевненості користувачів у безпеці власного житла. Можливість віддаленого аудиту стану об'єкта дозволяє оперативно нівелювати наслідки людського фактора, наприклад, дистанційно вимкнути забутий побутовий електроприлад або заблокувати залишені відкритими входні двері. Окрім цього, впровадження «Розумного будинку» має високе соціальне значення для осіб похилого віку та людей з обмеженими можливостями: безперервний автоматизований моніторинг

показників середовища допомагає створити для них безпечний простір для самостійного проживання, мінімізуючи потребу в постійному сторонньому догляді чи переведенні до спеціалізованих медичних закладів. Адаптивність системи дозволяє гнучко підлаштовувати навколишнє середовище під поточні потреби людини: так, у момент ідентифікації прибуття власника, автоматика може самостійно підняти ролети гаража, активувати світлові зони в коридорі та запустити відтворення фонові медіатеки через мультрум-акустику. Крім того, автоматизація процесів суттєво оптимізує витрати ресурсів. Замість неефективної цілодобової роботи кліматичного обладнання, інтелектуальний термостат вивчає добовий графік життєдіяльності сім'ї та активує систему кондиціонування або обігріву безпосередньо перед поверненням людей з роботи. Аналогічні принципи раціоналізації діють і в інших сферах, зокрема в контурах інтелектуального привуличного поливу, де зрошення газону здійснюється виключно на основі аналізу вологості ґрунту та прогнозу погоди, з точним дозуванням об'єму води. Такий підхід гарантує істотне зниження споживання енергоносіїв та води, що безпосередньо зменшує навантаження на екологію та заощаджує фінансові кошти споживача. Проте, попри очевидні переваги, масове впровадження домашньої автоматизації тривалий час стримувалося її високою технологічною складністю для пересічного користувача. Специфічний характер налаштування обладнання нерідко викликає труднощі у людей без профільної підготовки, через що перші невдалі спроби взаємодії іноді змушують споживачів повністю відмовитися від експлуатації smart-пристроїв. На сучасному етапі провідні розробники та міжнародні консорціуми докладають значних зусиль для максимального спрощення користувацьких інтерфейсів (UI/UX), прагнучи зробити взаємодію з екосистемою інтуїтивно зрозумілою та доступною для категорій користувачів із будь-яким рівнем технічної грамотності.

Для досягнення максимальної експлуатаційної ефективності систем автоматизації критично важливою умовою є забезпечення повної сумісності та інтеграції периферійних вузлів, незалежно від конкретного бренду виробника. Всі компоненти мають оперувати єдиними уніфікованими протоколами передачі

даних або принаймні належати до взаємодоповнюваних технологічних сімейств. Оскільки даний сегмент ринку все ще перебуває в стадії активного формування та динамічного розвитку, загальноприйнятого універсального стандарту для індустрії поки що не затверджено. Проте глобальні технологічні альянси наразі ведуть активну спільну роботу з розробниками заліза для створення безшовних інтерфейсів взаємодії, що має забезпечити стабільну трансляцію пакетів даних у різномірних мережових структурах.

Окремим пріоритетним викликом у цій предметній області залишається забезпечення кібербезпеки екосистеми «Розумного будинку». У разі успішного несанкціонованого проникнення злоумисників у програмний контур будь-якого смарт-пристрою, хакери отримують можливість повністю деактивувати охоронну сигналізацію, вимкнути периметральне освітлення або розблокувати електрозамки, залишаючи майно незахищеним перед фізичним вторгненням. Надто більше, компрометація одного периферійного пристрою може послужити точкою входу для зламу всієї локальної обчислювальної мережі власника, що загрожує масштабними кібератаками на персональні комп'ютери та викраденням конфіденційних платіжних або персональних даних. Крім прямих загроз хакерства, багато експертів та опонентів концепції IoT висловлюють серйозне занепокоєння щодо конфіденційності, оскільки збір та зберігання вендорами інформації про приватне життя мешканців створює ризики витоку особистих даних.

Сучасні житлові об'єкти на етапі капітального будівництва сьогодні дедалі частіше проектуються з уже закладеною базовою кабельною та бездротовою інфраструктурою під майбутню автоматизацію. Своєю чергою, будівлі старого житлового фонду модернізуються шляхом інтеграції накладних або бездротових інтелектуальних технологій поверх існуючих інженерних мереж. Варто відзначити, що хоча певна частина інстальованих систем усе ще продовжує експлуатувати класичні застарілі протоколи на кшталт X10 або Insteon, стрімкий технологічний стрибок та популярність в останні роки змістилися в бік

використання високошвидкісних інтерфейсів Wi-Fi та енергоефективного стандарту Bluetooth (BLE).

На сьогоднішній день Zigbee та Z-Wave займають домінуючі позиції серед спеціалізованих бездротових технологій зв'язку, що використовуються в архітектурі сучасних систем домашньої автоматизації. Обидва стандарти функціонують на базі децентралізованої комірчастої топології мережі (Mesh-мережі), де кожен окремий робочий нод (вузол) здатний виконувати роль ретранслятора або локального контролера для суміжних пристроїв, забезпечуючи високу живучість усієї структури. Попри те, що обидві технології орієнтовані на вирішення ідентичних завдань у межах розумного простору, між ними існують серйозні апаратні розбіжності.

Зокрема, технологія Z-Wave демонструє значно більший радіус впевненого покриття, який усереднено становить до 30 метрів в умовах приміщення, тоді як для протоколу Zigbee цей показник зазвичай обмежений 10 метрами; при цьому архітектурний стек протоколу Zigbee об'єктивно вважається складнішим у програмній реалізації. Також існує різниця на рівні виробничої монополії: напівпровідникові чіпи з підтримкою Zigbee випускаються широким пулом незалежних кремнієвих компаній, тоді як мікросхеми для Z-Wave є пропрієтарною технологією і постачаються на ринок обмеженим колом ліцензіатів (історично закріплених за Sigma Designs).

Справжня концепція «Розумного будинку» передбачає не просто наявність набору розрізнених автономних гаджетів, а створення монолітної, взаємопов'язаної мережі з єдиним вектором дистанційного керування. Менеджмент усіх процесів та інформаційних потоків покладається на головний контролер домашньої автоматизації, який зазвичай іменується шлюзом або хабом (Hub) «Розумного будинку». Цей хаб є спеціалізованим апаратним обчислювальним пристроєм, що виконує роль центрального ядра системи: він здійснює агрегацію телеметрії з датчиків, математичну обробку подій, виконання закладених скриптів та координацію бездротового зв'язку. Саме він консолідує управління всіма різнорідними виконавчими підсистемами в межах

єдиного програмного інтерфейсу, надаючи домовласникам інструмент для комплексного, безпечного та оперативного моніторингу житла з будь-якої точки планети.

1.2 Огляд та аналіз бездротових систем проекту “Розумний дім”

Під поняттям «Розумний дім» варто розуміти комплексну високотехнологічну систему, головне завдання якої полягає у здатності самостійно розпізнавати різноманітні ситуації та події, що відбуваються в житловому приміщенні, і максимально адекватно та оперативно на них реагувати. Завдяки глибокій інтеграції, одна складова цієї екосистеми (наприклад, датчики руху або температури) здатна автоматично керувати роботою інших пристроїв (освітленням чи клімат-контролем), спираючись на заздалегідь прописані користувачем алгоритми та інтелектуальні сценарії. Це дозволяє системі не лише виконувати рутинні завдання, але й діяти на випередження, створюючи ідеальне середовище для проживання.

На сьогоднішній день архітектура системи «Розумний дім» може бути реалізована двома основними способами: за допомогою дротових та бездротових комунікацій. Традиційно серед інженерів та фахівців прийнято вважати, що саме дротова система є еталоном надійності та стабільності в процесі тривалої експлуатації. Фізичне з'єднання кабелем забезпечує стійкість до будь-яких зовнішніх перешкод, не потребує заміни елементів живлення у датчиках та гарантує максимально високу швидкість і безперебійність передачі величезних масивів даних між центральним контролером та виконавчими механізмами.

У свою чергу, бездротові технології виступають чудовою альтернативою та слугують для передачі керуючих команд і цифрової інформації на різні відстані між двома або більшою кількістю вузлів, абсолютно не вимагаючи прокладання фізичних проводів та руйнування стін. Для ефективного обміну

даними в таких мережах найчастіше використовуються радіохвилі різного діапазону (на яких працюють популярні протоколи смарт-будинків), а також інфрачервоне, оптичне чи навіть лазерне випромінювання. Це робить бездротові рішення надзвичайно гнучкими, зручними для подальшого розширення та ідеальними для встановлення у приміщеннях, де вже завершено чистовий ремонт.

Розглянемо детальніше ключові бездротові технології, які сьогодні є фундаментом для систем розумного дому та корпоративних мереж, такі як Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, GSM та DTMF. Кожна з цих технологій має свої унікальні характеристики, радіус дії та сферу застосування, що дозволяє гнучко налаштовувати обмін даними між пристроями.

1. Технологія Wi-Fi — це сучасний бездротовий аналог класичного стандарту Ethernet, на основі якого сьогодні побудована лівова частка домашніх та офісних комп'ютерних мереж по всьому світу. Цей стандарт, офіційно зареєстрований у 1999 році, став справжнім технологічним проривом для топ-менеджерів, торгових агентів, співробітників складів та фрілансерів, чиїм основним робочим інструментом є ноутбук, планшет або інший мобільний комп'ютер. Сама аббревіатура Wi-Fi походить від англійського *Wireless Fidelity* (бездротова точність) і позначає сімейство стандартів бездротового радіозв'язку, об'єднаних офіційною назвою IEEE 802.11 (від Інституту інженерів з електротехніки та електроніки — авторитетної міжнародної організації, що розробляє стандарти електронних технологій). Історично найвідомішим протоколом був IEEE 802.11b (саме його найчастіше мали на увазі під скороченням Wi-Fi на початку нульових), який визначав роботу мереж у діапазоні частот 2,4–2,4835 ГГц зі швидкістю до 11 Мбіт/с. Дальність передачі сигналу в такій мережі складала близько 100 метрів у приміщенні та могла досягати 300-400 метрів на відкритій місцевості. Згодом з'явилися стандарти 802.11a (5 ГГц) та 802.11g (2,4 ГГц), які забезпечували вже 54 Мбіт/с. Хоча спочатку через меншу дальність, обчислювальну складність алгоритмів і високе

енергоспоживання вони поширювалися повільно, їх розвиток заклав базу для стандарту 802.11n (до 320 Мбіт/с) та сучасних гігабітних поколінь Wi-Fi.

Подібно до традиційних дротових технологій, Wi-Fi забезпечує стабільний та швидкий доступ до локальних серверів, які зберігають важливі бази даних чи програмні додатки, дозволяє вільно виходити в інтернет, відправляти файли на друк тощо. Але ключова перевага полягає в тому, що комп'ютер, з якого зчитується інформація, не потрібно фізично підключати кабелем до мережевої розетки. Достатньо лише розмістити його в радіусі до 300 метрів від так званої точки доступу (Access Point) — спеціального інтелектуального пристрою, який виконує функції, багато в чому схожі на роботу звичайної офісної АТС або комутатора. У цьому випадку вся цифрова інформація передається за допомогою високочастотних радіохвиль у діапазоні 2,4–2,483 ГГц, гарантуючи користувачу повну свободу переміщення.

Таким чином, впровадження Wi-Fi-технології дозволяє ефективно вирішити одразу три важливі завдання:

- **спростити взаємодію** з мобільним комп'ютером та смарт-пристроями, позбавивши робоче місце від зайвих проводів;
- **забезпечити максимально комфортні умови** для роботи діловим партнерам або клієнтам, які прийшли в офіс зі своїм ноутбуком;
- **швидко створити локальну мережу** в приміщеннях, де прокладання кабелю є фізично неможливим, економічно недоцільним або ж забороненим архітектурними нормами.

Бездротова технологія має величезний потенціал: вона може стати як самостійною основою всієї ІТ-інфраструктури сучасної компанії, так і зручним доповненням до вже існуючої надійної кабельної мережі. Однією з найголовніших переваг будь-якої Wi-Fi мережі є можливість безперешкодного доступу до Інтернету для всіх її користувачів. Це забезпечується або прямим підключенням точки доступу до магістрального інтернет-каналу, або її з'єднанням із будь-яким сервером, який вже має вихід у мережу. В обох випадках мобільному користувачу не потрібно витрачати час на самостійні складні

налаштування — достатньо просто запустити браузер і набрати адресу потрібного веб-сайту.

Також варто зазначити, що кілька пристроїв із підтримкою Wi-Fi можуть з'єднуватися один з одним безпосередньо (режим зв'язку "пристрій-пристрій" або Ad-hoc), тобто без використання окремої виділеної точки доступу. У такому форматі вони утворюють певну подобу децентралізованої локальної мережі, в якій можна швидко обмінюватися файлами. Проте в цьому випадку суттєво обмежується максимальна кількість "видимих" станцій, що можуть одночасно брати участь в обміні інформацією.

У випадку з комп'ютерною технікою без вбудованої підтримки Wi-Fi (наприклад, зі звичайними домашніми чи офісними десктопними комп'ютерами) необхідно буде придбати спеціальну мережеву карту або адаптер, що підтримує цей стандарт. Її середня вартість на ринку становить близько 30-50 доларів, а підключатися до комп'ютера вона може через різноманітні стандартні інтерфейси (PCI, USB, PCMCIA тощо), що робить модернізацію техніки швидкою і зручною.

Історично склалося так, що глобальна революція Wi-Fi розпочалася саме з ініціативи звичайних приватних користувачів. Людям дуже сподобалася ідея ділитися власним підключенням до мережі за допомогою цієї інноваційної бездротової технології. Для позначення безкоштовних зон Wi-Fi ентузіасти навіть розробили спеціальну систему умовних знаків, які наносилися крейдою на стіни будинків, біля яких можна було вільно вийти в інтернет (так званий "warchalking"). Спочатку такі дії викликали різко негативну реакцію з боку класичних мобільних та інтернет-операторів, проте невдовзі комерційні Wi-Fi провайдери навчилися мирно та взаємовигідно співіснувати з приватними мережами.

Якою б передовою та інноваційною не була дана технологія, ніколи не варто забувати про фінансову сторону питання. В історії індустрії можна навести безліч прикладів створення чудових пристроїв, які через свою надмірну дорожнечу так і не змогли увійти в масове використання (згадаймо хоча б

оперативну пам'ять RIMM). Але Wi-Fi уникнув цієї долі. Мінімальний базовий набір обладнання для встановлення системи Wi-Fi — це точка доступу (access point) та Wi-Fi-адаптери для всіх комп'ютерів із бездротовим підключенням, що коштують приблизно 30 доларів. А що стосується сучасних ноутбуків та мобільних гаджетів, то пристрій, необхідний для роботи в Wi-Fi мережах, вже входить до їхньої стандартної комплектації прямо із заводу.

Створення надійної точки доступу для одного великого або кількох суміжних приміщень — це доволі проста та відносно недорога задача. Необхідний комплект якісного обладнання зазвичай обходиться в суму від 100 до 1500 доларів залежно від характеристик. Якщо до цього додати вартість організації зовнішнього каналу доступу в Інтернет, до якого буде підключено бездротове обладнання, то загальні витрати на створення повноцінної корпоративної мережі складатимуть від 500 до 2000 доларів.

Надзвичайно важливим фактором є і те, що подальше обслуговування Wi-Fi-мережі обходиться приблизно на 75% дешевше, ніж профілактика звичайної кабельної інфраструктури. Щомісячні операційні витрати компанії складаються лише з оплати використовуваного інтернет-каналу та заробітної плати співробітників, задіяних у технічному супроводі. Втім, великих трудовитрат обслуговування Wi-Fi мережі не вимагає, тому часто з ним може впоратися штатний технічний персонал, що вже є в компанії. Однак варто пам'ятати: все сказане щодо економії та простоти справедливе переважно для великих приміщень, простір яких не розділений капітальними перегородками і високими меблями. Якщо ж офіс має складніше планування, його потрібно обладнати одразу кількома точками доступу, які об'єднуються між собою кабелями для створення безшовного покриття. Крім цього, критично важливо заздалегідь подбати про надійну систему безпеки внутрішньокорпоративної інформації (шифрування та паролі), що гарантовано виключить вторгнення в мережу небажаних користувачів.

2. Технологія ZigBee — це глобальний стандарт для набору високорівневих протоколів бездротового зв'язку, які використовують компактні

та малопотужні цифрові трансивери. В його основі лежить специфікація IEEE 802.15.4-2006, спеціально розроблена для створення бездротових персональних мереж (WPAN), за аналогією з тим, як бездротові навушники з'єднуються з мобільними телефонами або плеєрами за допомогою короткохвильових радіосигналів. Однак ця технологія, що визначається однойменною специфікацією від ZigBee Alliance, створювалася з чітким наміром бути значно простішою, надійнішою та дешевшою у масовому впровадженні, ніж інші поширені персональні мережі, такі як Bluetooth. Переважно стандарт ZigBee призначений для розумних радіочастотних пристроїв та датчиків у системах домашньої автоматизації або промисловості, де критично важливими є тривала та безперебійна робота від автономних елементів живлення, а також високий рівень безпеки під час передачі даних по мережі.

Мережі, побудовані на базі протоколу ZigBee, на відміну від багатьох інших традиційних бездротових рішень для передачі даних, повною мірою задовольняють найсуворіші вимоги сучасних смарт-систем, а саме:

1. завдяки використанню комірчастої (mesh) топології мережі та застосуванню спеціальних інтелектуальних алгоритмів маршрутизації, мережа ZigBee здатна забезпечувати функцію самовідновлення. Це гарантує стабільну доставку інформаційних пакетів навіть у складних ситуаціях: наприклад, у випадках раптового обриву зв'язку між окремими вузлами, появи серйозних фізичних перешкод, загального перевантаження радіоканалу або ж повного виходу з ладу якогось окремого елемента (маршрутизатора чи ретранслятора) системи;

2. сучасна специфікація ZigBee на базовому рівні передбачає надійний криптографічний захист усіх даних, що передаються по відкритих бездротових каналах. Використання стійких алгоритмів шифрування та надзвичайно гнучкої політики безпеки надійно захищає систему від несанкціонованого втручання, хакерських атак або перехоплення керуючих команд;

3. усі пристрої стандарту ZigBee відрізняються феноменально низьким рівнем споживання електроенергії. Це особливо стосується різноманітних

кінцевих пристроїв (наприклад, датчиків руху, температури чи сенсорів відчинення вікон), для яких розробниками передбачений спеціальний глибокий режим «сну». Завдяки цій оптимізації такі мініатюрні пристрої здатні автономно працювати від одного до трьох років, використовуючи живлення лише від однієї звичайної батарейки формату AA або навіть AAA, що позбавляє користувача необхідності їх частої заміни;

4. мережа ZigBee є повністю самоорганізованою екосистемою. Її базова структура задається параметрами профілю стека конфігуратора і формується абсолютно автоматично шляхом приєднання (або ж автоматичного повторного приєднання у разі тимчасової втрати сигналу) до мережі нових сумісних пристроїв. Це забезпечує максимальну простоту початкового розгортання розумного дому, а також неперевершену легкість його подальшого масштабування — для розширення зони покриття чи додавання нового функціоналу достатньо шляхом простого сполучення приєднати необхідні додаткові гаджети.

3. Технологія Bluetooth — це популярний стандарт бездротових персональних мереж (Wireless Personal Area Network, WPAN). Головне призначення Bluetooth полягає у забезпеченні швидкого, зручного та безпечного обміну цифровою інформацією між найрізноманітнішими електронними пристроями. До цього широкого переліку входять персональні комп'ютери (як потужні настільні станції, так і портативні ноутбуки чи кишенькові комп'ютери), мобільні телефони та смартфони, периферійне обладнання (принтери, бездротові миші, клавіатури, ігрові джойстики), а також мультимедійні гаджети (цифрові фотоапарати, навушники, гарнітури). Зв'язок здійснюється на надійній, абсолютно безкоштовній та загальнодоступній у всьому світі радіочастоті неліцензованого діапазону (2,4 ГГц), спеціально призначеній для комунікації на коротких відстанях. Унікальність Bluetooth полягає в тому, що він дозволяє цим пристроям вільно та безперешкодно спілкуватися між собою, коли вони знаходяться в радіусі до 10 метрів один від одного. При цьому реальна дальність

і стабільність сигналу можуть сильно варіюватися залежно від наявності фізичних перешкод (наприклад, товстих стін чи металевих конструкцій) та зовнішніх радіоперешкод. Однак вагомою перевагою є те, що технологія не вимагає прямої видимості між гаджетами, дозволяючи їм підтримувати зв'язок навіть перебуваючи в різних приміщеннях.

В основі глибокої архітектури технології Bluetooth лежить принцип об'єднання сумісних пристроїв у так звані пікомережі (piconet) . Вони являють собою локальні бездротові мережі передачі даних, які характеризуються невеликою кількістю активних елементів та мінімальною фізичною відстанню між ними. Найпростіша, елементарна пікомережа складається всього з двох пристроїв, оснащених модулями Bluetooth, де один обов'язково виконує роль головного (master), а інший — підпорядкованого або веденого (slave). Саме головний пристрій (master) бере на себе повну відповідальність за ініціацію сеансу зв'язку, синхронізацію, встановлення захищеного з'єднання та подальшу підтримку його стабільного функціонування. Згідно з протоколом, максимальна кількість активних з'єднань для одного master-пристрою становить рівно 7 підпорядкованих (slave) гаджетів, причому загальна сумарна швидкість передачі даних між ними рівномірно ділиться і не може перевищувати максимальний ліміт пропускної здатності, передбачений для конкретної версії Bluetooth. Надзвичайно важливою функцією є те, що ролі master та slave не закріплюються за пристроями жорстко і назавжди: залежно від поточних завдань та рівня завантаженості вони можуть динамічно змінюватися «на льоту». Більше того, залежно від складності топології пікомережі, один і той самий пристрій під час різних з'єднань здатен виконувати абсолютно різні ролі, а також може одночасно виступати в якості підпорядкованого (slave) елемента одразу для кількох різних головних (master) пристроїв, утворюючи ще складніші структури — так звані скаттермережі (scatternet).

4. Стандарт GSM (від англ. *Global System for Mobile Communications*) — це загальновизнаний глобальний стандарт цифрового мобільного стільникового

зв'язку, який функціонує на основі технологій розділення каналів у часі (TDMA) та за частотою (FDMA). Цей стандарт є яскравим представником другого покоління (2G) систем стільникового зв'язку, що базується на повністю цифрових принципах передачі сигналу. Завдяки реалізованому в архітектурі GSM повношвидкісному кодуванню мови, якість передачі звуку вдалося зробити максимально наближеною до еталонної якості традиційних дротових стаціонарних телефонних мереж. З технічної точки зору, будь-який радіотелефон стандарту GSM можна умовно розділити на дві фундаментальні та незалежні складові: абонентський модуль ідентифікації SIM (SIM-карта) та безпосередньо сам мобільний апарат, який містить необхідне апаратне (антени, мікросхеми, дисплей) і програмне забезпечення. Саме SIM-карта слугує головним ключем для підтвердження справжності абонента в мережі оператора: вона надійно зберігає у своїй вбудованій пам'яті всі необхідні цифрові дані, алгоритми та інформацію, пов'язану з індивідуальними правами доступу й тарифами конкретного користувача. Щоб у разі крадіжки або втрати телефону злоумисник не зміг нею скористатися, розробники передбачили спеціальний багаторівневий захист, базовим елементом якого є персональний ідентифікаційний номер (PIN-код). Використання знімної SIM-карти стало справжньою революцією у зручності: при заміні або поломці телефонного апарата абоненту більше не потрібно змінювати свій звичний мобільний номер або перереєстровуватися у провайдера. Достатньо просто переставити мініатюрну картку, і всі збережені на ній персональні дані, включаючи контакти із записної книжки та архів повідомлень, миттєво стають доступними в новому пристрої. Варто зазначити, що коли SIM-карта відсутня в апараті, доступ до абсолютної більшості мережевих послуг автоматично блокується, за винятком можливості здійснювати екстрені виклики (якщо це технічно дозволяє покриття доступних радіомереж). Виготовити нелегальний діючий дублікат сучасної SIM-карти надзвичайно складно, що в сукупності з іншими інтегрованими протоколами дає дуже високий рівень захисту як самих користувачів, так і телекомунікаційних мереж від будь-якого несанкціонованого доступу.

У стандарті GSM на апаратному та програмному рівнях введено відразу кілька потужних функцій захисту інформації. У першу чергу, це динамічне шифрування радіоканалу зв'язку між мобільним терміналом та базовою станцією, яке практично виключає можливість прослуховування конфіденційних розмов третьою стороною, а також надійна система маскування реального номера абонента (це робиться за допомогою тимчасових ідентифікаторів для запобігання розкриттю його точного поточного місцезнаходження). Крім стандартних і звичних базових можливостей, що надаються всіма операторами стільникового зв'язку (таких як якісний місцевий, міжміський та міжнародний голосовий зв'язок, переадресація викликів тощо), телефони стандарту GSM пропонують своїм власникам широкий спектр додаткових інтелектуальних функцій. Серед них: збереження вхідних мовних повідомлень, що надійшли в період, коли абонент перебував поза зоною дії мережі або його телефон був вимкнений (сервіс «голосова пошта»), прийом сповіщень про отриманий факс (факс-пошта), а також автоматичне визначення номера того, хто телефонує (Caller ID). Справжнім проривом свого часу стала передбачена стандартом можливість передачі коротких текстових повідомлень формату «з точки в точку» (так званий пейджинг або SMS — *Short Message Service*). Завдяки цій функції абоненти отримали можливість за бажанням швидко обмінюватися простими короткими (до кількох десятків символів) текстовими повідомленнями, причому тарифи на цю послугу традиційно були нижчими, ніж на звичайні голосові переговори. Додаткова функція мобільного модема або факсу, яка розвивалася паралельно з повсюдним поширенням портативних комп'ютерів (ноутбуків), відкрила користувачам унікальну можливість бездротового доступу до мережі Інтернет та перевірки електронної пошти безпосередньо через стільникові мережі GSM. Усі ці інноваційні послуги в комплексі значно збільшують привабливість, корисність та ефективність використання телефонів стандарту GSM у повсякденному житті. Так, наприклад, послуга факс-пошти виявилася надзвичайно корисною для зайнятих ділових людей, оскільки вона дозволяє ніколи не пропустити важливу документацію в будь-який час доби, абсолютно

незалежно від поточного місцезнаходження абонента, його відряджень чи поїздки. Мобільний телефон оперативно сповістить свого власника про надходження нових матеріалів, а той, у свою чергу, зможе отримати цей факс коли завгодно і де завгодно, оскільки документ автоматично перенаправляється та зберігається в його персональному електронному поштовому ящику.

5. Технологія DTMF (широко відома як тональний набір або тональний сигнал, від англ. *Dual-Tone Multi-Frequency*) — це спеціальний двотональний багаточастотний аналоговий сигнал, який традиційно використовується для набору телефонного номера та керування телекомунікаційним обладнанням. Сфера практичного застосування цих тональних сигналів досить широка: вона охоплює як автоматичну телефонну сигналізацію та непомітний для користувача обмін службовими даними безпосередньо між пристроями зв'язку, так і ручне введення команд самим абонентом. Наприклад, саме ця технологія дозволяє нам щодня зручно взаємодіяти з різноманітними багаторівневими інтерактивними системами, такими як голосові меню автоавтовідповідачів, банківські гарячі лінії чи служби підтримки (системи прямого доступу DISA або голосові меню IVR — *Interactive Voice Response*), де для вибору потрібної опції достатньо натиснути відповідну цифру на клавіатурі смартфона чи стаціонарного апарата. За своєю фізичною природою та використовуваною смугою частот цей сигнал повністю відповідає стандартному акустичному діапазону класичної телефонії, що робить його абсолютно універсальним.

Сама аббревіатура DTMF дослівно означає «двотональна багаточастотна посилка» і представляє собою геніально простий, але високоефективний метод кодування кожної цифри чи символу клавіатури унікальною комбінацією двох різних звукових частот (одна з нижньої групи, інша — з верхньої) з метою їх миттєвої передачі по звичайних аналогових лініях зв'язку, наприклад, по стандартній мідній телефонній лінії. Під час початкової розробки цього світового стандарту інженерами була врахована одна критично важлива умова: усі генеровані частоти обов'язково повинні знаходитися виключно в межах

стандартного людського «голосового» діапазону. Це елегантне рішення дозволило суттєво знизити технічні вимоги до пропускну здатності каналу передачі та уникнути необхідності дороговартісної модернізації вже існуючих дротових мереж. Сьогодні у світових телефонних мережах сигнали DTMF масово використовуються не лише для швидкого набору номера, але й для безпечної передачі паролів, PIN-кодів та іншої конфіденційної цифрової інформації. І незважаючи на те, що в деяких регіонах на застарілих АТС досі може зустрічатися старий механічний імпульсний спосіб набору номера (який тривалий час залишався безальтернативним стандартом, наприклад, у Німеччині), він має критичні недоліки у сучасних реаліях. Час з'єднання при імпульсному наборі значно збільшується через послідовне відправлення серій переривань струму (клацань), що неминуче призводить до непродуктивного завантаження ліній зв'язку та дратівливого очікування для користувача. Крім цього, переважна більшість сучасних додаткових телекомунікаційних послуг, автоматизованих комп'ютерних сервісів та систем дистанційного керування (включаючи модулі системи «Розумний дім») технічно можливі виключно з використанням миттєвого і безпомилкового тонального набору.

У таблиці 1.2 наведено порівняльний аналіз вищерозглянутих технологій.

Таблиця 1.2 - Порівняльний аналіз бездротових технологій

Вид бездротового зв'язку	Частотний діапазон	Пропускна здатність	Розмір стека протоколу, кбайт	Час безперервної роботи від батареї, дні	Радіус дії, м	Сфери застосування
ZigBee	2,4 – 2,483 ГГц	250	32 – 64	100 – 1000	10 – 100	Віддалений моніторинг та управління
Wi-Fi	2,4 – 2,483 ГГц	11000	Понад 1000	0,5 – 5	20 – 300	Передача мультимедійної інформації (Інтернет, пошта тощо)

Bluetooth	2,4 – 2,483 ГГц	723,1	Понад 250	1 – 10	7	Заміна дротового з'єднання
GSM	2110 – 2170 МГц	до 7 КБ/с	Понад 1000	1 – 10	-	Стільниковий зв'язок 3G
DTMF	2110 – 2170 МГц	до 7 КБ/с	Понад 1000	1 – 10	-	Стільниковий зв'язок DTMF

У ході проведеного дослідження було детально розглянуто та всебічно проаналізовано провідні бездротові технології та методи комунікації, серед яких: Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, GSM та DTMF. У процесі аналізу детально враховувалися як позитивні якості та унікальні переваги кожного рішення, так і їхні очевидні мінуси — від високого енергоспоживання до значної вартості розгортання інфраструктури. На основі цього комплексного порівняльного аналізу для фінальної реалізації було обрано технологію DTMF. Головна цінність такого рішення полягає в тому, що за умови правильного інженерного підходу та оптимізації, цей метод дозволяє побудувати систему керування, яка є практично безкоштовною в процесі щоденної експлуатації, що надає розробленому «Розумному дому» особливої унікальності та високої конкурентоспроможності. Адже тепер з'являється реальна можливість дистанційно віддавати керуючі команди та отримувати зворотні сигнали стану системи, не витрачаючи додаткових коштів на оплату дорогого інтернет-трафіку чи спеціальних абонентських планів для смарт-пристроїв.

1.3 Висновки до розділу 1

В розділі проведено аналіз теоретичних засад концепції «Розумного будинку» та базових бездротових технологій дозволяє стверджувати, що сучасна домашня автоматизація є монолітною IoT-екосистемою, яка трансформує житловий простір у безпечне, енергоефективне та ергономічне середовище. Централізована координація процесів за допомогою інтелектуального хабу забезпечує автоматичну оптимізацію робочих сценаріїв, мінімізує вплив людського фактора та адаптує ресурсоспоживання під індивідуальні патерни життєдіяльності мешканців. Попри стримувальні чинники, такі як високі вимоги

до кібербезпеки, загрози конфіденційності та відсутність єдиного універсального стандарту сумісності, індустрія демонструє стрімкий розвиток у напрямку спрощення користувацьких інтерфейсів та безшовної інтеграції обладнання.

Порівняльний аналіз бездротових архітектур свідчить, що вибір конкретного інтерфейсу зв'язку безпосередньо залежить від технічних завдань проєктованого об'єкта. Високошвидкісний стандарт Wi-Fi є незамінним для передачі великих масивів даних та організації загального мережевого доступу, проте створює значне навантаження на систему живлення. Спеціалізовані бездротові протоколи Zigbee та Z-Wave, завдяки використанню децентралізованої комірчастої топології (Mesh-мережі) та режимів глибокого сну, гарантують феноменальну автономність периферійних датчиків, високу живучість інфраструктури та простоту масштабування. Водночас глобальний стандарт цифрового стільникового зв'язку GSM та аналогова технологія тонального кодування DTMF залишаються надійним базисом для побудови контурів віддаленого моніторингу та резервного дистанційного керування системами автоматизації через телефонні мережі. Таким чином, інтеграція бездротових технологій виступає ефективною, гнучкою та економічно доцільною альтернативою класичним дротовим рішенням, дозволяючи розгортати інтелектуальні системи керування на об'єктах із будь-яким типом планування чи станом житлового фонду.

2 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Загальні положення при виборі типів пожежних датчиків

Загальна кількість автоматичних пожежних сповіщувачів (датчиків) у будівлі розраховується та визначається виходячи з необхідності гарантованого й своєчасного виявлення осередків займання по всій контрольованій площі приміщень або окремих пожежних зон. Що стосується спеціалізованих датчиків полум'я, то їхня кількість додатково регламентується потребою контролю конкретного технологічного обладнання чи зон підвищеного ризику [16].

1. Згідно з базовими нормативними вимогами, у кожному приміщенні, яке підлягає захисту, необхідно встановлювати не менше двох пожежних сповіщувачів, що дозволяє забезпечити високу надійність системи та мінімізувати ризик пропуску тривожного сигналу.

2. Проте в окремих випадках у захищаємому приміщенні допускається проектувати та встановлювати лише один пожежний сповіщувач, але виключно за умови одночасного й безкомпромісного виконання таких жорстких критеріїв:

- загальна фактична площа даного приміщення не перевищує нормативну площу, яку здатен ефективно захистити один пожежний датчик відповідно до його офіційної технічної документації (паспорта пристрою), а також не є більшою за середню площу покриття, встановлену в нормативній Таблиці 2.1;

- інженерною схемою забезпечується безперервний автоматичний контроль працездатності самого пожежного сповіщувача, який у режимі реального часу підтверджує належне виконання ним своїх функцій із негайною видачею сповіщення про несправність на центральний приймально-контрольний прилад у разі поломки;

- інтегрований приймально-контрольний прилад здатний чітко й однозначно ідентифікувати (адресувати) конкретний несправний сповіщувач серед інших елементів системи для його швидкої заміни;

- зафіксований сигнал від цього єдиного пожежного датчика не використовується для автоматичного формування команди на запуск виконавчої

апаратури керування, яка відповідає за ввімкнення стаціонарних установок автоматичного пожежогасіння, систем протидимного захисту (димовидалення) або систем мовленнєвого оповіщення про пожежу та управління евакуацією найскладнішого 5-го типу.

Таблиця 2.1 — Нормативні відстані та площі покриття між пожежними сповіщувачами

Висота приміщення, що захищається, м	Середня площа, яка контролюється одним сповіщувачем, м ²	Максимальна відстань, м	
		між сповіщувачами	від сповіщувача до стіни
До 3,5	До 85	9,0	4,5
Понад 3,5 до 6,0	До 70	8,5	4,0
Понад 6,0 до 10,0	До 65	8,0	4,0
Понад 10,5 до 12,0	До 55	7,5	3,5

1. Тонкощі розміщення точкових сповіщувачів під перекриттям та на конструкціях. Точкові пожежні сповіщувачі (датчики), за винятком спеціалізованих сповіщувачів полум'я, зазвичай необхідно встановлювати безпосередньо під перекриттям (стелею). Якщо виконати монтаж датчика безпосередньо під перекриттям технічно неможливо, допускається їхнє альтернативне розміщення на стінах, колонах, опорних балках та інших несучих будівельних конструкціях приміщення, а також надійне кріплення на спеціально натягнутих тросах.

- У разі встановлення точкових пожежних сповіщувачів під основним перекриттям, їх слід позиціонувати на відстані не менше ніж 0,1 м від суміжних стін.

- Якщо монтаж точкових датчиків здійснюється безпосередньо на стінах, на спеціальній виносній арматурі або за допомогою кріплення на тросах, правила стають суворішими: їх необхідно розміщувати на відстані не менше ніж 0,1 м від бічних стін і строго на відстані від 0,1 до 0,3 м від лінії перекриття

(стелі), причому цей діапазон обов'язково повинен враховувати габаритні розміри самого корпусу сповіщувача.

- При підвішуванні сповіщувачів на тросових системах інженерний проєкт повинен гарантувати їхнє максимально стійке положення та чітку, незмінну орієнтацію в просторі для запобігання коливанням від повітряних потоків.

2. Врахування повітряних потоків та вентиляційних систем. Грамотне розміщення точкових теплових і димових пожежних сповіщувачів обов'язково має здійснюватися з урахуванням конвекції та напрямку повітряних потоків у приміщенні, які викликані роботою припливної або витяжної штучної вентиляції. Щоб уникнути розсіювання диму або охолодження теплового елемента, мінімальна відстань від корпусу сповіщувача до будь-якого вентиляційного отвору (дифузора, решітки або короба) має становити не менше ніж 1 м.

3. Вплив геометрії стелі та виступаючих конструкцій. Точкові димові та теплові пожежні датчики необхідно монтувати в кожному окремому відсіку стелі шириною 0,75 м і більше, який обмежений будівельними конструкціями (виступаючими балками, прогонами, ребрами плит перекриття тощо), що виступають від площини стелі вниз на відстань понад 0,4 м.

- Якщо зазначені будівельні конструкції виступають від стелі на відстань більше ніж 0,4 м, але утворені ними заглиблені відсіки за своєю шириною є меншими за 0,75 м, то загальна контрольована пожежними сповіщувачами площа (зазначена в нормативних таблицях 5 та 8) автоматично зменшується на 40%.

- За наявності на стелі менш масивних виступаючих частин і елементів (у діапазоні від 0,08 до 0,4 м), площа контролю, яку покриває один пожежний сповіщувач відповідно до таблиць 5 і 8, базово зменшується на 25%.

- Якщо в контрольованому приміщенні є суцільні технологічні коробки, широкі вентиляційні канали або майданчики шириною 0,75 м і більше, які мають суцільну конструкцію, що віддалена за своєю нижньою точкою від

стелі на відстань понад 0,4 м і при цьому знаходиться на висоті не менше ніж 1,3 м від площини підлоги, під такими конструкціями необхідно додатково встановлювати окремі пожежні сповіщувачі.

4. Особливості приміщень зі стелажми та високим обладнанням. Точкові димові та теплові датчики слід обов'язково передбачати в кожному локальному відсіку приміщення, що утворюється штабелями матеріалів, високими товарними стелажми, масивним промисловим обладнанням або будівельними елементами, верхні краї яких підходять близько до стелі — на відстань 0,6 м і менше.

5. Коригування відстаней у вузьких та низьких просторах. У разі монтажу точкових димових пожежних сповіщувачів у вузьких приміщеннях (коридорах, галереях) шириною менше ніж 3 м, а також у замкнутих інженерних просторах — наприклад, безпосередньо під фальшпідлогою або над фальшстелею та в інших прихованих порожнинах висотою менше ніж 1,7 м, стандартні нормативні відстані між датчиками, наведені в таблиці 5, допускається збільшувати в 1,5 рази.

6. Вимоги до датчиків у прихованих просторах. Усі пожежні сповіщувачі, які встановлюються в прихованих зонах (під фальшпідлогою або над фальшстелею), обов'язково повинні бути адресного типу, або ж підключатися до окремих, повністю самостійних шлейфів пожежної сигналізації. Головна вимога — забезпечення чіткої та швидкої можливості визначення точного місця їхнього розташування при спрацьовуванні. При цьому сама знімна чи розбірна конструкція панелей фальшпідлоги та елементів фальшстелі повинна гарантувати вільний фізичний доступ до пожежних сповіщувачів для їхнього регулярного технічного обслуговування.

7. Дотримання заводських інструкцій. Безпосередній монтаж та електричне підключення пожежних сповіщувачів мають виконуватися в суворій відповідності до регламентів, монтажних схем та специфічних вимог офіційної технічної документації (паспорта та інструкції з експлуатації) на конкретну модель пристрою.

8. Захист від механічних пошкоджень. У зонах і приміщеннях, де об'єктивно існує підвищений ризик випадкового механічного пошкодження корпусу датчика, обов'язково має бути передбачена спеціальна захисна конструкція (наприклад, міцна металева сітка чи кожух), яка при цьому жодним чином не погіршує його працездатність та не знижує загальну ефективність і швидкість виявлення початкового загоряння.

9. Комбінування різнотипних датчиків. У разі, якщо в одній спільній зоні контролю паралельно встановлюються різнотипні пожежні сповіщувачі (наприклад, комбінація димових та теплових), їхнє геометричне розміщення та розрахунок відстаней здійснюються індивідуально — відповідно до нормативних вимог, прописаних окремо для кожного конкретного типу сповіщувача.

На основі вищезазначених нормативних вимог щодо просторового розташування, специфіки монтажу та точного розрахунку оптимальної кількості пожежних датчиків, у практичній частині роботи було детально розроблено та розглянуто схему протипожежного захисту для двокімнатної квартири в молодіжному житловому комплексі загальною площею 85 м². Детальний графічний план цього об'єкта із нанесеними точками монтажу обладнання наведено на Рисунку 2.1.

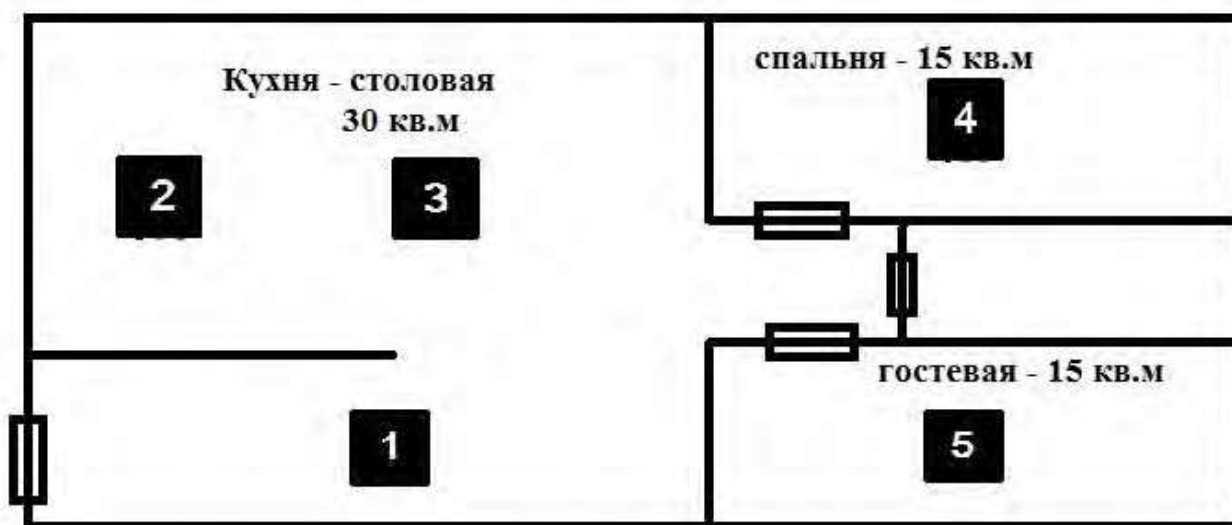


Рисунок 2.1 - План двох кімнатної квартири

Таким чином, кількість датчиків газу та диму, встановлених у даній квартирі, дорівнює п'яти.

2.2 Розробка функціональної схеми автоматизації пожежної безпеки 2-х кімнатної квартири «Розумний дім»

Функціональна схема автоматизації (ФСА) є основним підсумковим технічним документом, який чітко визначає функціонально-блочну структуру та повний обсяг автоматизації технологічних установок, окремих машин, механізмів і складних агрегатів, що забезпечують виконання заданого технологічного процесу.

За своєю суттю функціональна схема автоматизації — це креслення, на якому схематично, за допомогою стандартизованих умовних позначень, зображуються: технологічне обладнання, комунікації (трубопроводи, лінії зв'язку), органи керування та безпосередньо засоби автоматизації (вимірювальні прилади, регулятори, обчислювальні пристрої, елементи телемеханіки). На ній обов'язково вказуються зв'язки між технологічним устаткуванням та елементами автоматики, а також взаємозв'язки між окремими компонентами самої системи автоматизації. Варто зазначити, що різноманітні допоміжні пристрої, такі як редуктори, повітряні фільтри, джерела живлення, автоматичні вимикачі та запобіжники в ланцюгах живлення, сполучні (клемні) коробки, а також інші монтажні елементи на функціональних схемах автоматизації не показуються.

Функціональну схему автоматизації конкретної технологічної установки виконують, як правило, на одному спільному кресленні. На ньому наочно зображують апаратуру всіх інтегрованих систем: контролю, регулювання, автоматичного керування та сигналізації, які безпосередньо відносяться до даної технологічної установки.

Для складних технологічних процесах із великим обсягом автоматизації схеми можуть бути виконані роздільно за видами технологічного контролю та керування. Тобто в такому разі окремо розробляються та викреслюються схеми автоматичного керування, схеми контролю та схеми сигналізації.

Для об'єктів із нескладними технологічними процесами та простими системами контролю й керування функціональні схеми автоматизації можуть взагалі не складатися. У таких випадках їх повноцінно замінюють текстовими переліками або таблицями систем контролю, регулювання, керування та сигналізації.

«Прочитати» функціональну схему автоматизації означає чітко визначити та проаналізувати на її основі такі ключові аспекти:

1. конкретні параметри технологічного процесу, які підлягають автоматичному контролю та безперервному регулюванню;
2. наявність систем протиаварійного захисту та світлозвукової аварійної сигналізації;
3. прийняту схему та логіку блокування виконавчих механізмів;
4. організацію та просторове розміщення пунктів контролю і диспетчерського керування;
5. функціональну структуру кожного окремого вузла контролю, сигналізації, автоматичного регулювання та керування;
6. конкретні технічні засоби (прилади, датчики, контролери), за допомогою яких реалізується той чи інший функціональний вузол системи.

Для того, щоб безпомилково прочитати функціональну схему автоматизації, необхідно глибоко знати базові принципи побудови систем технологічного контролю й керування, володіти знаннями про умовні графічні та літерні зображення технологічного обладнання, трубопроводів, приладів і засобів автоматизації, а також розуміти характер функціональних зв'язків між окремими пристроями. Крім того, обов'язково потрібно мати чітке уявлення про характер самого технологічного процесу та особливості взаємодії окремих установок і агрегатів обладнання.

Технологічне обладнання та комунікації на функціональних схемах зображують, як правило, спрощено і в скороченому вигляді, без деталізації та вказівки окремих допоміжних технологічних апаратів чи трубопроводів другорядного призначення. Зображена таким чином технологічна схема не

перевантажує креслення й дає ясне уявлення про загальний принцип її роботи та характер взаємодії із засобами автоматизації.

На технологічних трубопроводах зазвичай показують лише ту регулюючу та запірну арматуру, яка бере безпосередню участь у процесі контролю та керування, а також ті запірні чи регулюючі органи, які необхідні для точного визначення відносного розташування місць відбору імпульсів (точок монтажу датчиків) або наочно пояснюють доцільність проведення вимірювань.

Технологічні апарати та трубопроводи допоміжного призначення демонструють на схемах лише в тих виняткових випадках, коли вони механічно з'єднуються або безпосередньо взаємодіють із засобами автоматизації.

В окремих ситуаціях деякі елементи складного технологічного обладнання допускається зображувати на функціональних схемах у вигляді простих прямокутників із обов'язковим зазначенням текстового найменування цих елементів, або ж їх не показують на кресленні взагалі. При цьому біля умовних позначень датчиків, відбірних, прийомних чи інших аналогічних за призначенням пристроїв чітко вказують назву або номер того технологічного обладнання, до якого вони безпосередньо відносяться.

Технологічні комунікації, а також трубопроводи для транспортування рідин і газів на схемах показують відповідно до вимог стандартів (ДСТУ) при їхньому однолінійному виконанні.

Для більш детальної та точної вказівки характеру робочого середовища до його цифрового позначення може додаватися специфічний літерний індекс. Наприклад: чиста вода — 1ч, перегріта пара — 2п, насичена пара — 2н тощо.

Для позначення ліній трубопроводів на функціональних схемах автоматизації також можуть повноцінно застосовуватися умовні позначення, прийняті безпосередньо на базових технологічних схемах об'єкта.

Біля графічного зображення технологічного обладнання, його окремих вузлів та ліній трубопроводів обов'язково наводяться відповідні пояснювальні написи (найменування обладнання, його унікальний технологічний або позиційний номер, якщо такий є тощо), а чіткими стрілками вказуються

напрямки руху потоків середовища. Окремі агрегати та установки обладнання можуть бути зображені на кресленні розірвано (віддалено один від одного), проте в таких місцях завжди наводяться необхідні текстові чи цифрові вказівки, що підтверджують їхній взаємозв'язок.

Вимірювальні прилади, засоби автоматизації, електричні пристрої та елементи обчислювальної техніки на функціональних схемах автоматизації показують у суворій відповідності до вимог чинного стандарту ДСТУ Б А.2.4-16:2008.

В окремих випадках, за умови повної відсутності у чинних стандартах необхідних графічних символів, допускається використовувати нестандартні умовні зображення, які виконують на основі характерних конструктивних або функціональних ознак пристроїв, що зображуються.

У стандарті ДСТУ Б А.2.4-16:2008 чітко прийнята та регламентована система позначень за функціональною ознакою, яку виконує даний прилад або конкретний засіб автоматизації.

Первинні вимірювальні перетворювачі (датчики), відбірні та прийомні пристрої, які безпосередньо врізаються або вбудовуються в тіло технологічних апаратів і трубопроводів (такі як бобишки, захисні гільзи, кармани, розширювачі тощо), на функціональних схемах автоматизації не показують.

Водночас ряд прийомних пристроїв за своєю конструкцією та фізичним принципом дії взагалі не потребують безпосереднього контакту з вимірюваним середовищем (наприклад, радіоізотопні чи радіоактивні пристрої — коліматори, відеоприймальні пристрої, оптичні сенсори тощо). Їх монтують і, відповідно, зображують на функціональних схемах у безпосередній близькості до об'єкта вимірювання.

Регулюючі органи, такі як пальники, форсунки, напрямні апарати, гідромуфти, варіатори та реостати, показують безпосередньо на місцях їхнього фактичного встановлення у вигляді умовних графічних зображень, прийнятих для технологічного обладнання. Для датчиків і приладів, які сигналізують або

вказують на поточне положення регулюючих органів, виконавчих механізмів тощо, на схемі наочно показують існуючий механічний зв'язок. [17]

На Рисунку 2.1 схематично зображена двокімнатна квартира із розташованими в її приміщеннях датчиками витоку газу, сповіщувачами диму та автоматичними розпилювачами (спринклерами). За умови виникнення аварійної ситуації, концентрат газу або дим потрапляє на відповідний датчик, після чого сформований електричний сигнал надходить на центральний контролер. Контролер обробляє інформацію та миттєво передає сигнал на DTMF-декодер, який підключений через дротовий інтерфейс (AUX-кабель) до мобільного телефону (що виступає в ролі передавача). Телефон-передавач, у свою чергу, здійснює автоматичний виклик на номер господаря квартири, імітуючи затискання гарячої клавіші швидкого набору на апараті. Господар квартири, прийнявши дзвінок, затискає певну клавішу на своєму телефоні й відправляє зворотний двотональний багаточастотний (DTMF) сигнал керування безпосередньо на автоматичні розпилювачі для локалізації аварії. Усі умовні графічні та літерні позначення, наведені на даній функціональній схемі автоматизації (ФСА), детально розшифровані в Таблиці 2.2.

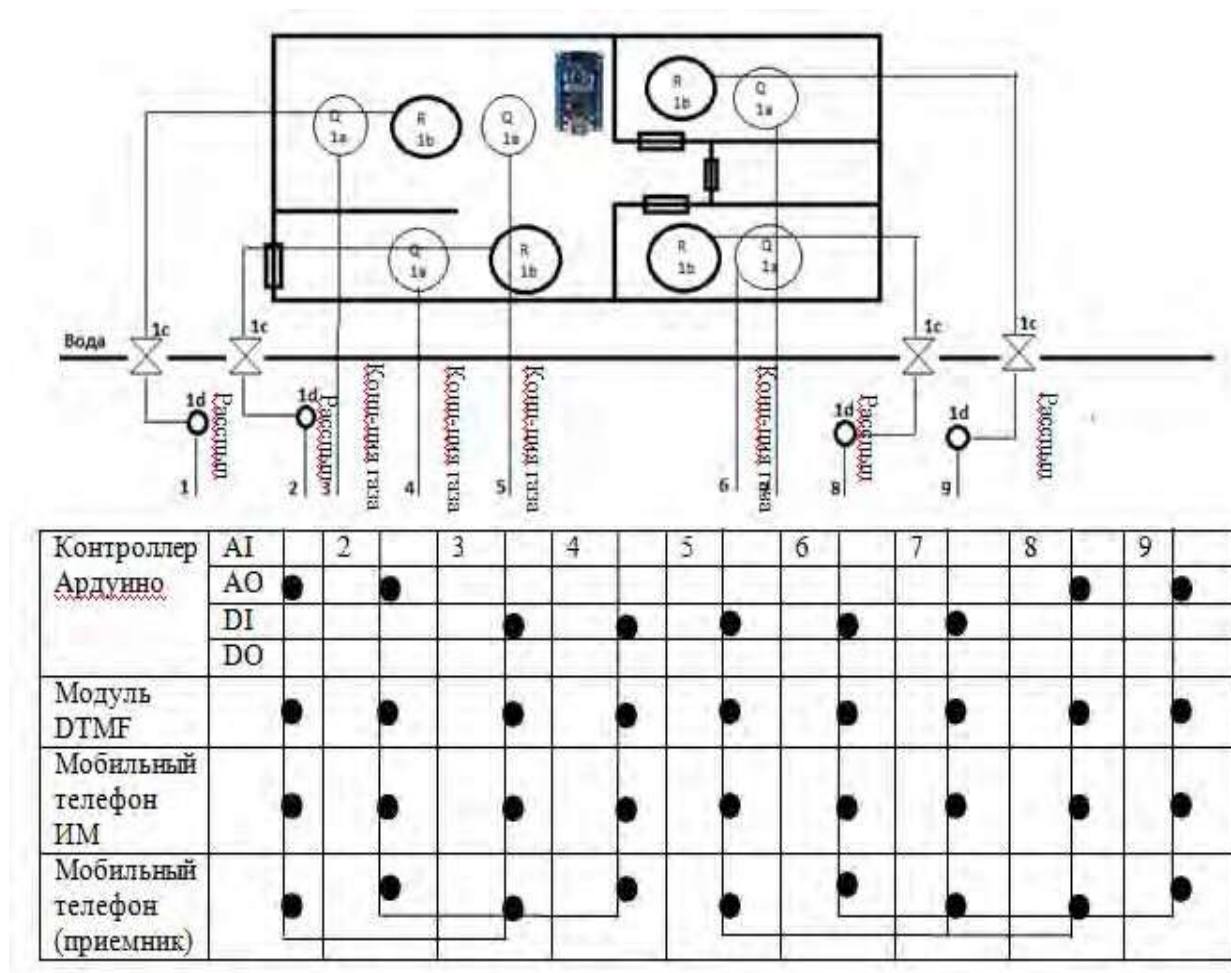


Рисунок 2.1 – ФСА пожежної безпеки 2-х кімнатної квартири

Таблица 2.2 – Позначення на ФСА

№	Назва	Найменування
1a	Датчик	MQ-2
1b	Розпилювач	-
1c	Клапан	-
1d	Вимірювальний механізм	-

2.3 Вибір обладнання пожежної безпеки 2-х кімнатної квартири «Розумний дім»

Повний комплекс обладнання для розгортання інженерної системи «Розумний дім» містить такі базові компоненти: комбінований датчик газу та диму, керуючий мікроконтролер, мобільний телефон (модуль зв'язку), модуль DTMF-декодера та виконавчий механізм — автоматичний розпилювач рідини або концентрату.

Датчик газу та диму MQ-2 (Рисунок 2.2)



Рисунок 2.2 — Напівпровідниковий датчик серії MQ-2

Датчик газу, сконструйований на базі широкосмугового газоаналізатора MQ-2, дозволяє з високою точністю виявляти в навколишньому повітрі присутність вуглеводневих газів (таких як пропан, метан, н-бутан), диму (зважених мікрочастинок, що є продуктом термохімічного горіння та тління), а також водню.

Завдяки своїй універсальності, пристрій є чудовим рішенням для побудови систем виявлення витоків промислового чи побутового газу та раннього задимлення приміщень. Вихідним результатом роботи модуля є лінійний аналоговий сигнал, величина напруги якого прямо пропорційна концентрації газів у повітрі, до яких сприйнятливий хімічний шар газоаналізатора. Поточну чутливість (порог спрацьовування) можна гнучко налаштувати під конкретні умови за допомогою змінного резистора (тримера), розташованого безпосередньо на платі датчика.

У конструкцію газоаналізатора інтегровано внутрішній нагрівальний

елемент, який є необхідним для стабільного перебігу хімічної реакції на поверхні сенсора. Через це під час активної роботи корпус датчика помітно нагрівається — це є штатною робочою особливістю приладу. Для отримання максимально стабільних та точних показань новий сенсор при першому випробуванні необхідно піддати процедурі «прогріву» (залишити увімкненим під напругою) протягом 24 годин. Після завершення цього процесу стандартний час стабілізації хімічного шару після кожного наступного увімкнення складатиме близько однієї хвилини.

Слід враховувати, що поточні показання сенсора схильні до впливу коливань температури та відносної вологості навколишнього повітря. Тому в разі експлуатації датчика в нестабільному середовищі, де потрібна висока точність вимірювань, у програмному коді мікроконтролера необхідно буде реалізувати алгоритм динамічної компенсації цих параметрів.

Датчик підключається до керуючої електроніки за допомогою трьох дротів (живлення, заземлення та сигнальний аналоговий кабель). При інтеграції пристрою з платформою Arduino для максимальної зручності монтажу рекомендується використовувати плату розширення Troyka Shield. Спеціальний трипровідний шлейф для підключення зазвичай входить до базового комплекту модуля.

Технічні характеристики MQ-2:

- Напруга живлення: 5 В
- Струм споживання: 160 мА

Діапазон вимірюваних концентрацій:

- Пропан: 0,2 – 5 проміле (‰)
- Бутан: 0,3 – 5 проміле (‰)
- Метан: 5 – 20 проміле (‰)
- Водень: 0,3 – 5 проміле (‰)
- Пари спиртів: 0,1 – 2 проміле (‰)

Датчик газу та парів спирту MQ-3 (Рисунок 2.3)



Рисунок 2.3 — Напівпровідниковий датчик серії MQ-3

Модуль MQ-3 належить до класу твердотільних напівпровідникових приладів. Фізичний принцип роботи датчика базується на зміні показника електричного опору тонкоплівкового шару діоксиду олова SnO_2 при безпосередньому контакті з молекулами аналізованого газу (парів етанолу).

Конструктивно чутливий елемент складається з мініатюрної керамічної трубки зі спеціальним захисним покриттям оксиду алюмінію Al_2O_3 , на яку нанесено активний сенсорний шар діоксиду олова. Всередині цієї трубки проходить коаксіальний нагрівальний елемент (спіраль), який розігріває хімічний шар до високої робочої температури, за якої він починає активно реагувати на появу цільового газу. Вибіркова чутливість до конкретних типів газів досягається шляхом точного варіювання складу та концентрації каталітичних домішок у хімічному шарі на етапі виробництва.

Діапазон вимірюваних концентрацій:

- Пари алкоголю (етанол): 0,05 мг/л – 10 мг/л

Технічні характеристики MQ-3:

- Напруга живлення вбудованого нагрівача: 5 В
- Напруга живлення плати датчика: 3,3 – 5 В
- Струм споживання: 150 мА
- Габаритні розміри модуля: 25,4 × 25,4 мм

Датчик метану та природного газу MQ-4 (Рисунок 2.4)



Рисунок 2.4 — Напівпровідниковий датчик серії MQ-4

Датчик серії MQ-4 також є напівпровідниковим приладом, призначеним для моніторингу повітряного середовища на предмет витоку горючих газів. Його принцип роботи аналогічний попереднім моделям і базується на зміні внутрішнього опору тонкоплівкового покриття з діоксиду олова SnO_2 при адсорбції молекул газу.

В основі конструкції лежить керамічна підкладка-трубка з нанесенням Al_2O_3 та активного шару SnO_2 . Вбудована ніхромова спіраль підігріву забезпечує вихід датчика на стабільний температурний режим, необхідний для виникнення окисно-відновних реакцій. Специфіка налаштування хімічного складу домішок робить цей датчик максимально вибіркоким (селективним) саме до молекул метану, мінімізуючи помилкові спрацьовування на інші типи газів.

Діапазон вимірюваних концентрацій:

- Метан (CH_4): 200 – 10000 ppm (частин на мільйон)

Технічні характеристики MQ-4:

- Напруга живлення вбудованого нагрівача: 5 В
- Напруга живлення плати датчика: 3,3 – 5 В
- Струм споживання: 150 мА
- Габаритні розміри модуля: 25,4 × 25,4 мм

У Таблиці 2.3 наведено узагальнені результати порівняльного аналізу

технічних та експлуатаційних параметрів розглянутих моделей газоаналізаторів.

Таблиця 2.3 — Порівняльні параметри датчиків серії MQ

Тип датчика	Технічні характеристики	Переваги та цільові гази	Недоліки / Особливості
MQ-2	Напруга живлення: 5 В Струм споживання: 160 мА	Універсальність: ефективно виявляє дим, пропан, бутан, метан та водень.	Має перехресну чутливість (важко розділити, який саме газ виявлено); показання залежать від вологості.
MQ-3	Напруга нагрівача: 5 В Живлення датчика: 3,3 – 5 В Струм: 150 мА Розміри: 25,4 × 25,4 мм	Висока селективність до спиртів: ідеально визначає пари алкоголю та етанолу.	Майже повністю ігнорує побутові горючі гази (наприклад, метан).
MQ-4	Напруга нагрівача: 5 В Живлення датчика: 3,3 – 5 В Струм: 150 мА Розміри: 25,4 × 25,4 мм	Вузька спеціалізація: висока чутливість до метану (основа природного газу).	Обмежений спектр дії; практично не реагує на задимлення чи важкі гази (пропан/бутан).

Найбільш оптимальним, технічно виправданим та економічно доцільним для реалізації даного проекту є комбінований датчик газу та диму **MQ-2**. На відміну від вузькоспеціалізованих моделей MQ-3 та MQ-4, він здатний одночасно детектувати як метан (природний газ із магістрального газопроводу), так і пропан-бутанову суміш (балонний газ), а також перші ознаки задимлення. Саме такий широкий спектр контрольованих речовин є критично необхідним для забезпечення комплексної безпеки сучасної інженерної системи «Розумний дім».

Вибір керуючого контролера

На сучасному ринку представлено чимало різноманітних систем «Розумний дім», реалізованих на базі мікроконтролерів і платформ від таких

виробників, як Siemens, Broadlink, Wiren Board, Arduino та інших (Таблиця 2.4).

Оптимальним, найбільш гнучким та економічно вигідним типом контролера для проектування бездротових систем «Розумний дім» є **Arduino**. Його вартість є суттєво нижчою за більшість конкурентних аналогів, а широкий спектр можливостей для інтеграції модулів бездротового зв'язку якнайкраще підходить для реалізації цього проекту.

Платформа Arduino створена для простого проектування систем автоматизації та робототехніки з орієнтацією на непрофесійних користувачів (роботу з нею легко освоїти). Вона може застосовуватися як для побудови повністю автономних об'єктів автоматики, так і для підключення до спеціалізованого програмного забезпечення на комп'ютері через стандартні дротові та бездротові інтерфейси.

Таблиця 2.4 — Види контролерів для бездротових систем «Розумний дім»

Вид контролера	Підтримувані види бездротового зв'язку	Орієнтовна вартість	Переваги та недоліки
Broadlink	Wi-Fi	~\$30	Переваги: Простий у використанні, має численні готові функції. Недоліки: Єдиний доступний вид зв'язку — Wi-Fi; висока вартість самого контролера та сумісних датчиків.
Arduino	Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth, GSM, DTMF	~\$100	Переваги: Доступна ціна модулів та датчиків, підтримка численних видів бездротового зв'язку, відкрита платформа (Open-source). Недоліки: Вимагає самостійного написання коду та монтажу компонентів.
Wiren Board	Wi-Fi, GSM	\$1000+	Переваги: Потужний промисловий функціонал, схожий за гнучкістю з Arduino.

			Недоліки: Набагато дорожчий за модульні рішення.
--	--	--	--

Контролер Arduino Uno (Рисунок 2.5)



Рисунок 2.5 — Мікроконтролерна платформа Arduino Uno

Апаратна платформа Arduino Uno побудована на базі мікроконтролера **ATmega328**. Платформа оснащена:

- 14 цифровими входами/виходами (6 з яких можуть працювати в режимі ШІМ — широтно-імпульсної модуляції);
- 6 аналоговими входами;
- кварцовим генератором на 16 МГц;
- роз'ємом USB (тип B);
- силовим роз'ємом живлення;
- роз'ємом ICSP для внутрисхемного програмування;
- кнопкою апаратного скидання (Reset).

Для початку роботи з платформою її достатньо підключити до комп'ютера за допомогою стандартного USB-кабелю або подати живлення від зовнішнього джерела — мережевого адаптера AC/DC чи акумуляторної батареї.

Технічні характеристики Arduino Uno:

- Мікроконтролер: ATmega328
- Робоча напруга (логічний рівень): 5 В

- Вхідна напруга (рекомендована): 7–12 В
- Вхідна напруга (гранична): 6–20 В
- Цифрові входи/виходи: 14 (6 з ШІМ)
- Аналогові входи: 6
- Максимальний постійний струм через вхід/вихід: 40 мА
- Постійний струм для виводу 3.3 В: 50 мА
- Флеш-пам'ять: 32 КБ (з яких 0.5 КБ використовуються завантажувачем)
- Оперативна пам'ять (ОЗУ / SRAM): 2 КБ
- Енергонезалежна пам'ять (EEPROM): 1 КБ
- Тактова частота: 16 МГц

Контролер Arduino Nano (Рисунок 2.6)



Рисунок 2.6 — Мікроконтролерна платформа Arduino Nano

Компактна платформа Nano, побудована на мікроконтролері **ATmega328** (у версії Arduino Nano 3.0) або **ATmega168** (у версії 2.x), відрізняється малими габаритами і є дуже зручною для макетування та лабораторних робіт. За своїм функціоналом вона практично повністю аналогічна платі Arduino

Duemilanove/Uno, проте має іншу компоновку елементів. Головна відмінність полягає у відсутності громіздкого силового роз'єму постійного тока та використанні для програмування й живлення компактного кабелю Mini-B USB (або Micro-USB у сучасних модифікаціях). Модуль Nano розроблений та випускається компанією Gravitech (а також численними сторонніми виробниками).

Технічні характеристики Arduino Nano (на базі ATmega168):

- Мікроконтролер: Atmel ATmega168 (або ATmega328 у новіших версіях)
- Робоча напруга (логічний рівень): 5 В
- Вхідна напруга (рекомендована): 7–12 В
- Вхідна напруга (гранична): 6–20 В
- Цифрові входи/виходи: 14 (6 з ШІМ)
- Аналогові входи: 8 (на 2 більше, ніж в Uno)
- Постійний струм через вхід/вихід: 40 мА
- Флеш-пам'ять: 16 КБ (для ATmega168) або 32 КБ (для ATmega328)
- Оперативна пам'ять (ОЗУ): 1 КБ (або 2 КБ відповідно)
- Енергонезалежна пам'ять (EEPROM): 512 Байт (або 1 КБ відповідно)
- Тактова частота: 16 МГц
- Фізичні розміри: 1.85 см × 4.2 см

Контролер Arduino Mini (Рисунок 2.7)



Рисунок 2.7 — Мікроконтролерна платформа Arduino Mini

Платформа Arduino Mini побудована на базі мікроконтролера **ATmega168** (або ATmega328) і спеціально розроблена для застосування в готових проектах, де критично важливим параметром є мінімізація вільного простору. Плата містить 14 цифрових входів/виходів (6 з яких підтримують ШІМ), 8 аналогових входів та кварцовий резонатор на 16 МГц. Для зменшення габаритів на ній відсутній власний USB-інтерфейс, тому програмування здійснюється за допомогою зовнішнього адаптера Mini USB або будь-якого іншого перетворювача USB-в-TTL (наприклад, FTDI чи CH340).

На плату Arduino Mini суворо забороняється подавати напругу живлення, що перевищує 9 В, а також допускати переполюсовку живлення — це миттєво виведе платформу з ладу через відсутність потужних захисних діодів.

Технічні характеристики Arduino Mini:

- Мікроконтролер: Atmel ATmega168 / ATmega328
- Робоча напруга (логічний рівень): 5 В (існують також версії на 3.3 В / 8 МГц)
- Вхідна напруга (рекомендована): 7–9 В
- Цифрові входи/виходи: 14 (6 з ШІМ)

- Аналогові входи: 8
- Постійний струм через вхід/вихід: 40 мА
- Флеш-пам'ять: 16 КБ або 32 КБ
- Оперативна пам'ять (ОЗУ): 1 КБ або 2 КБ
- Енергонезалежна пам'ять (EEPROM): 512 Байт або 1 КБ
- Тактова частота: 16 МГц
- Фізичні розміри: 1.8 см × 3.3 см

Найбільш підходящим та технічно виправданим для реалізації цього проекту є мікроконтролер **Arduino Nano**. Завдяки своїм ультракомпактним розмірам він легко інтегрується у малогабаритні корпуси елементів «Розумного дому», проте, на відміну від плати Arduino Mini, він вже має вбудований USB-роз'єм. Це дозволяє легко відлагоджувати, жити та перепрошивати систему без використання додаткових зовнішніх програматорів, що забезпечує ідеальний баланс між мініатюрністю та зручністю розробки.

Вибір бездротової технології для зв'язку з датчиком

Спираючись на порівняльний аналіз, проведений у п. 1, як базову технологію для бездротового дистанційного зв'язку та керування виконавчими механізмами системи було обрано DTMF-модуль.

Апаратний модуль декодера побудований на базі спеціалізованої мікросхеми MT8870. Він дозволяє з високою точністю розпізнавати та декодувати двотональні багаточастотні сигнали (DTMF), що надходять із телефонної лінії або аудіовиходу мобільного телефона, та виставляти відповідні цифрові логічні рівні (0 або 1) на одному зі своїх 4 незалежних вихідних каналів.

На практиці такий модуль підключається до звичайного (або мобільного) телефона, на якому активується функція автоматичної відповіді («автовідповідач»). Здійснивши дзвінок на цей телефон-передавач з будь-якої точки світу, користувач може за допомогою натискання клавіш на клавіатурі свого смартфона дистанційно перемикає виходи контролера в стан логічного нуля або одиниці. Крім того, архітектура мікросхеми MT8870 передбачає два

додаткові виходи стробування вихідних сигналів — прямий (StD) та інверсний.

При кодуванні методом DTMF кожна цифра від 0 до 9, а також спецсимволи та літери (A–D, */E та #/F) представляються у вигляді унікальної одночасної комбінації двох синусоїдальних частот (Таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 — Матриця кодування символів методом DTMF

Частота	1209 Гц	1336 Гц	1477 Гц	1633 Гц
697 Гц	1	2	3	A
770 Гц	4	5	6	B
852 Гц	7	8	9	C
941 Гц	*/E	0	#/F	D

У цій координатній системі кожен стовпець відповідає конкретній частоті з «верхньої» групи частот (Hi-Group: 1209–1633 Гц), а кожен рядок — частоті з «нижньої» групи (Lo-Group: 697–941 Гц).

Тональні частоти підібрані розробниками стандарту таким чином, щоб повністю виключити ймовірність помилкового спрацьовування через вплив гармонікових завад чи мови. Усі частоти не є кратними одна одній, і жодна з частот DTMF не може бути отримана шляхом математичного додавання або віднімання інших робочих частот матриці.

Нормативні вимоги та специфікації сигналів

Для коректного формування та розпізнавання сигналів набору в сучасних телекомунікаційних мережах (відповідно до офіційної специфікації Федерального міністерства пошти та зв'язку Німеччини VAPT 223 ZV 5 [1]) висуваються такі жорсткі технічні вимоги:

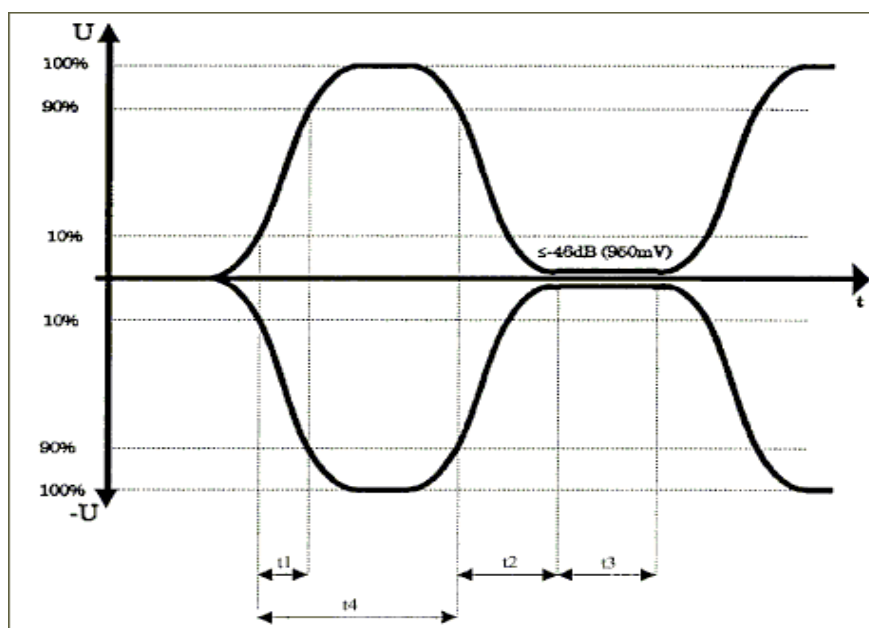
- Стабільність частоти: максимальне відхилення фактичної частоти від її номінального значення не повинно перевищувати 1.8% протягом усього процесу генерації тону;
- Форма сигналу: обвідна (огинаяча) лінія сигналу тонального набору повинна строго відповідати осцилограмі часових характеристик;

- Рівні напруги: амплітуда і напруга сигналів повинні чітко відповідати критеріям, наведеним у Таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 — Нормативні параметри та рівні напруги DTMF-сигналів

Параметр сигналу	Мінімальне значення	Номінальне значення	Максимальне значення
Рівень напруги нижньої групи (Lo-Group)	-11.5 дБм	-9.5 дБм	-7.5 дБм
Рівень напруги верхньої групи (Hi-Group)	-9.5 дБм	-7.5 дБм	-5.5 дБм
Різниця рівнів (Твіст / Twist)	0.5 дБ	2.0 дБ	3.5 дБ

Часові характеристики сигналів DTMF (Рисунок 2.8)



t1: время нарастания ≤ 7 мс
t2: время спада ≤ 5 мс

t3: время между символами ≥ 80 мс
t4: длительность символа ≥ 65 мс

Рисунок 2.8 — Часові та динамічні характеристики сигналів DTMF

На Рисунку 2.8 наочно представлено графік визначення тривалості та меж DTMF-сигналу за його часовими характеристиками. Відповідно до стандартів, формування DTMF-символу вважається розпочатим, коли поточний рівень амплітуди сигналу перевищує 10% від його номінального значення. Символ вважається завершеним (зафіксованим), коли рівень сигналу падає нижче 90% від номінальної амплітуди.

З метою ефективної компенсації неминучих затухань і втрат у довгих кабельних лініях зв'язку, номінальний рівень напруги вищої з двох частот обов'язково повинен бути вищим щонайменше на 0.5 дБ, але не більше ніж на 3.5 дБ, порівняно з номінальним рівнем напруги нижчої частоти.

У загальному частотному діапазоні від 250 до 4600 Гц сумарний рівень усіх сторонніх шумів та завад (за винятком корисних частот, що безпосередньо формують DTMF-код) повинен відповідати таким критеріям селективності:

- бути щонайменше на 23 дБ нижчим за сумарний рівень корисних частот набору;
- бути щонайменше на 20 дБ нижчим за індивідуальний рівень кожної з цих корисних частот окремо.

2.4 Висновки до розділу 2

У розділі було детально розглянуто та узагальнено нормативні вимоги щодо проєктування й просторового розміщення точкових пожежних сповіщувачів під перекриттям, біля вентиляційних систем, а також в умовах специфічної геометрії приміщень і прихованих просторів. Спираючись на ці чинні стандарти, розроблено практичну схему протипожежного захисту двокімнатної квартири площею 85 м², де визначено оптимальне розташування та кількість необхідних датчиків, яка становить п'ять одиниць.

Також у розділі розкрито теоретичні та методологічні засади побудови функціональних схем автоматизації (ФСА). На основі державних стандартів ДСТУ створено графічну схему та логіку взаємодії елементів пожежної безпеки квартири в концепції «Розумний дім». Ця система забезпечує фіксацію витoku газу або диму, передачу сигналу через мікроконтролер та дротовий інтерфейс до телефона-передавача, автоматичний виклик власника об'єкта та можливість зворотного дистанційного керування засобами локалізації аварії за допомогою DTMF-сигналів.

На основі проведеного порівняльного аналізу ринку вимірювальних пристроїв та мікроконтролерів обґрунтовано вибір елементної бази системи. Найбільш технічно виправданим та економічно доцільним визначено напівпровідниковий комбінований датчик газу та диму MQ-2 завдяки його здатності детектувати широкий спектр небезпечних речовин (метан, пропан-бутан, дим), що є критичним для житлового сектора. В якості центрального керуючого органу обрано платформу Arduino, яка суттєво переважає аналоги за критерієм вартості, гнучкості налаштування, відкритості коду та підтримки багатьох каналів бездротового зв'язку. Сформований аналітичний підґрунтя дозволяє перейти до безпосередньої програмно-апаратної реалізації та тестування спроектованої системи захисту.

3 ПРОЄКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розробка схеми КТС підключення обладнання пожежної безпеки

На Рисунку 3.1 представлено графічну схему двокімнатної квартири загальною площею 85 м² із зазначенням місць оптимального просторового розташування елементів системи. Загалом у приміщеннях квартири інтегровано 5 пожежних сповіщувачів (датчиків).

У проєкті застосовано газоаналізатори серії **MQ** виробництва компанії *Henan Hanwei Electronics*. Це популярна лінійка твердотільних напівпровідникових (резистивних) сенсорів, технологія виготовлення яких є надійною та повністю відпрагрованою на виробництві.

Фізичний принцип роботи датчика виявлення газу базується на властивості зміни питомої електричної провідності тонкоплівкового шару діоксиду олова SnO_2 при безпосередньому контакті з молекулами аналізованого газу. Вибіркова чутливість до різних видів газів забезпечується шляхом легирования (введення домішок різних каталізаторів) у структуру чутливого шару на етапі синтезу.

Конструктивно сам чутливий елемент датчика складається з мініатюрної керамічної мікротрубки (туби) з підкладкою з оксиду алюмінію Al_2O_3 , на поверхню якої нанесено активний сенсорний шар діоксиду олова. Всередині туби розміщено ніхромовий нагрівальний елемент (спіраль підігріву), який розігріває чутливий шар до високої робочої температури, необхідної для проходження хімічної реакції. Коли молекули газу потрапляють на поверхню датчика, відбувається їхня адсорбція, внаслідок чого внутрішній опір напівпровідникового сенсора стрімко падає, що фіксується вимірювальною схемою.

Всі датчики безпосередньо підключені до центрального контролера Arduino. Кожен окремий датчик з'єднується з керуючою електронікою за допомогою стандартного 3-дротового інтерфейсу (живлення, заземлення та лінія передачі аналогового сигналу). Для швидкого, зручного та надійного

підключення периферії до плати ArduinoUno/Nano раціонально використовувати плату розширення Troyka Shield. Спеціальний трипровідний з'єднувальний шлейф входить до базового заводського комплекту датчика.

Паралельно до контролера Arduino підключено модуль DTMF-декодера. Модуль DTMF з'єднаний з мобільним телефоном через стандартний аналоговий аудіовхід (інтерфейс AUX). Телефон на загальній схемі (Рисунок 2.9) виконує функцію апаратного передатчика. Надалі він транслює сигнал через стільникову мережу зв'язку на телефон-приймач, який безпосередньо сповіщає власника квартири про виникнення аварійної ситуації (витоку газу чи пожежі).

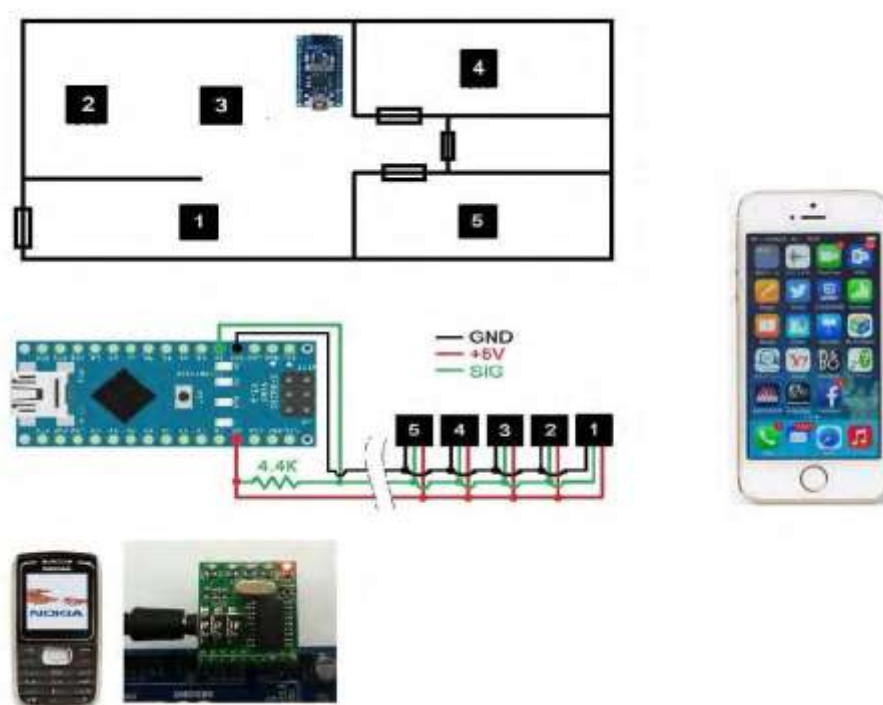


Рисунок 3.1 — Функціонально-структурна схема КТС системи безпеки

Проектована система протипожежної та газової безпеки має ряд яскраво виражених експлуатаційних особливостей.

Переваги системи:

- Низьке енергоспоживання: апаратні модулі та контролер споживають мінімальну кількість електроенергії, що дозволяє системі тривалий час функціонувати навіть від джерел безперебійного живлення (ДБЖ) в автономному режимі.
- Надвисока чутливість: передавач здійснює екстрений виклик та

надсилає сигнал тривоги господарю квартири вже при досягненні концентрації газу понад 0,2% від нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКМП / взривоопасной). Це гарантує значний запас часу, цілком достатній для того, щоб власник або аварійні служби встигли вчасно зреагувати на усунення витoku.

Недоліки та шляхи модернізації:

- Слабка селективність (вибірковість): оскільки датчики серії MQ-2 є широкосмуговими, пристрій може демонструвати перехресну чутливість до сторонніх парів (наприклад, побутової хімії, спиртів або парів кухні) і давати помилкові спрацьовування.
- Вимогливість до монтажу: через слабку селективність необхідно вкрай відповідально підходити до вибору конкретного місця встановлення датчиків, уникаючи зон прямого потрапляння пари від приготування їжі чи побутових аерозолів.
- Дротове з'єднання: наявність фізичних дротів та аудіокабелів між Arduino, DTMF та телефоном дещо ускладнює монтаж.

Перспектива розвитку проекту: Безперечно, впровадження сучасного повністю бездротового протоколу передачі даних безпосередньо з вимірювального пристрою (наприклад, за технологією Wi-Fi через чіп ESP8266, Bluetooth або ZigBee) зробило б архітектуру системи набагато сучаснішою, цікавішою та зручнішою для кінцевого монтажу в житлових приміщеннях.

3.2 Розробка програми бездротової системи пожежної безпеки на базі контролера Ардуїно

Графічне представлення блок-схеми алгоритму, за яким функціонує розроблена комплексна система пожежної та газової безпеки, наочно наведено на рисунку 2.10.

Деталізований опис логіки роботи та послідовності виконання кроків алгоритму:

1. Старт програми: Ініціалізація та запуск програмного забезпечення мікроконтролера, що відповідає за моніторинг безпекового стану об'єкта та екстрене оповіщення. Програмний код реалізовано мовою C/C++ у

спеціалізованому середовищі розробки Arduino IDE (яку в побуті часто називають «мовою Ардуїно»). На цьому етапі відбувається конфігурація цифрових та аналогових портів (пінів) введення-виведення, а також налаштування інтерфейсів зв'язку з периферійними модулями.

2. Основний робочий цикл: Постійний (нескінченний) робочий цикл програми (void loop) базується на безперервному циклічному опитуванні вимірювальних пристроїв та динамічній перевірці поточного рівня концентрації небезпечних газів у приміщенні. Оскільки фізична концентрація речовини у повітрі не може бути меншою за нуль, логіка порівняння побудована на зіставленні з базовим фоновим значенням повітряного середовища (чистим повітрям). Якщо поточний рівень аналізованого газу перебуває в межах норми і не перевищує встановлений поріг (умовний нуль для датчика), керуюча логіка повертає алгоритм до початкової точки опитування. Якщо ж фіксується перевищення порогового рівня, програма миттєво ініціює наступний крок, і підключений телефон-передатчик здійснює автоматичний екстрений виклик на мобільний номер власника нерухомості.

3. Моніторинг показників: Безперервний контроль, фільтрація завад та зчитування аналогових сигналів, що надходять у реальному часі з вихідних інтерфейсів комбінованого напівпровідникового датчика виявлення чадного газу, метану та задимлення серії MQ.

4. Аналіз логічних умов:

- Логічна умова 1 (Виявлення загрози): У випадку, коли поточний показник концентрації горючих або токсичних газів перевищує задану уставку безпеки (тобто в повітрі об'єктивно присутній газ чи дим), програма виконує розгалуження за гілкою «ТАК». Мікроконтролер видає сигнал на імітацію затискання кнопки швидкого набору, внаслідок чого інтегрований телефон-передатчик здійснює виклик на телефон власника квартири.

- Логічна умова 2 (Дистанційне реагування): Після прийняття тривожного дзвінка власник приміщення оцінює ситуацію і натискає клавішу «1» на клавіатурі свого смартфона. Сформований двотональний багаточастотний

сигнал за допомогою бездротової технології DTMF надходить на декодер системи. Розпізнана команда передається на виконавчий механізм — дренчерний або спринклерний розпилювач. Контролер замикає реле, відкриваються електромагнітні клапани лінії водопостачання і починається інтенсивне розпилення води для локалізації займання чи осадження газу. Програмний таймер відлічує рівно 20 секунд автономної роботи гідросистеми, після чого подача сигналу припиняється і клапани автоматично закриваються.

5. Завершення підпрограми: Кінець поточного циклу виконання екстреного алгоритму та переведення всієї системи безпеки у штатний режим очікування, безперервного фонового моніторингу та охорони об'єкта.

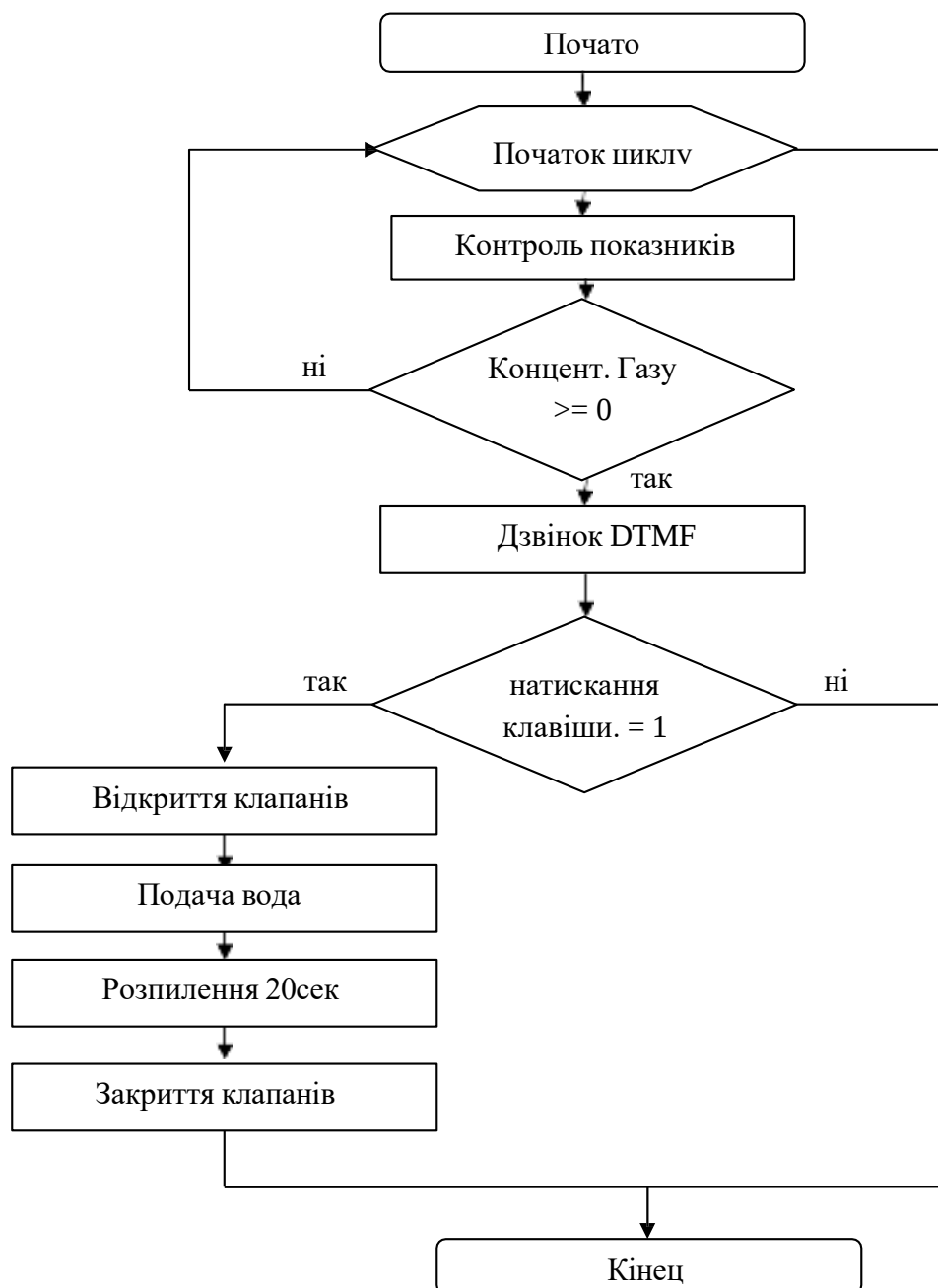


Рисунок 3.2 - Алгоритм роботи системи пожежної безпеки

Програму даного алгоритму роботи, написану для контролера Ардуїно, наведено у додатку А.

3.3 Опис роботи системи пожежної безпеки для ЖК "Розумний дім"

В процесі виконання бакалаврської роботи було розроблено бездротову систему пожежної безпеки, орієнтованої на використання в житлових комплексах типу «Розумний дім». Головною особливістю розробленої системи є використання стільникового зв'язку для оперативного сповіщення власника квартири про виникнення надзвичайної ситуації (задимлення або витік газу) шляхом апаратної інтеграції зі звичайним мобільним телефоном.

Для реалізації алгоритму виявлення та сповіщення до складу макета включено наступні компоненти :

- Джерело живлення (Power Bank): Забезпечує систему автономним живленням (5V). Це гарантує безперебійну роботу системи безпеки навіть у разі аварійного відключення електроенергії в будівлі під час пожежі.
- Датчик MQ-2: Напівпровідниковий сенсор, який виконує роль первинного перетворювача. Він здатний фіксувати наявність у повітрі горючих газів та диму.
- Мікроконтролер (Arduino): Виконує роль центрального обчислювального блоку. Контролер здійснює безперервний моніторинг показників з датчика MQ-2 та приймає рішення про ініціацію тривоги у разі перевищення допустимої концентрації газів.
- Модуль комутації (Реле/Ключ): Виконавчий пристрій, який отримує керуючий сигнал від Arduino та виконує фізичне замикання електричного кола.
- Телефон-передавач (звичайний мобільний телефон): Використовується як GSM-модуль для передачі сигналу тривоги.



Рисунок 3.3. Структура системи пожежної безпеки з отримання сигналу по системах сільникового зв'язку

Оригінальним інженерним рішенням у даній системі є спосіб взаємодії мікроконтролера з мобільним телефоном для здійснення виклику:

1. Програмна підготовка телефону: На мобільному телефоні, що входить до складу макета, заздалегідь налаштована функція «швидкого набору» номера власника квартири. Ця функція прив'язана до клавіші «2».

2. Апаратне підключення: Керуючі дроти від модуля комутації підпаяні безпосередньо до контактної площадки клавіші «2» на друкованій платі мобільного телефону. Один дріт підключено до «маси» (GND), інший — до сигнального контакту самої клавіші.

3. Фіксація загрози: При надходженні газу або диму на датчик MQ-2 (Рис. 2.12), його опір змінюється, і він подає сигнал на аналоговий/цифровий вхід Arduino.

4. Обробка сигналу: Мікроконтролер Arduino фіксує перевищення порогового значення та подає напругу на модуль комутації.

5. Імітація натискання: Модуль комутації спрацьовує і замикає підключені дроти. Для мобільного телефону це є фізичним еквівалентом тривалого натискання (затискання) клавіші «2».

6. Сповіщення: Телефон автоматично активує функцію швидкого набору і здійснює виклик через стільникову мережу.

7. Отримання тривоги: На дисплеї мобільного телефону власника з'являється вхідний дзвінок (Рис. 3.4), що слугує миттєвим сигналом про критичну концентрацію газу або пожежу в квартирі.

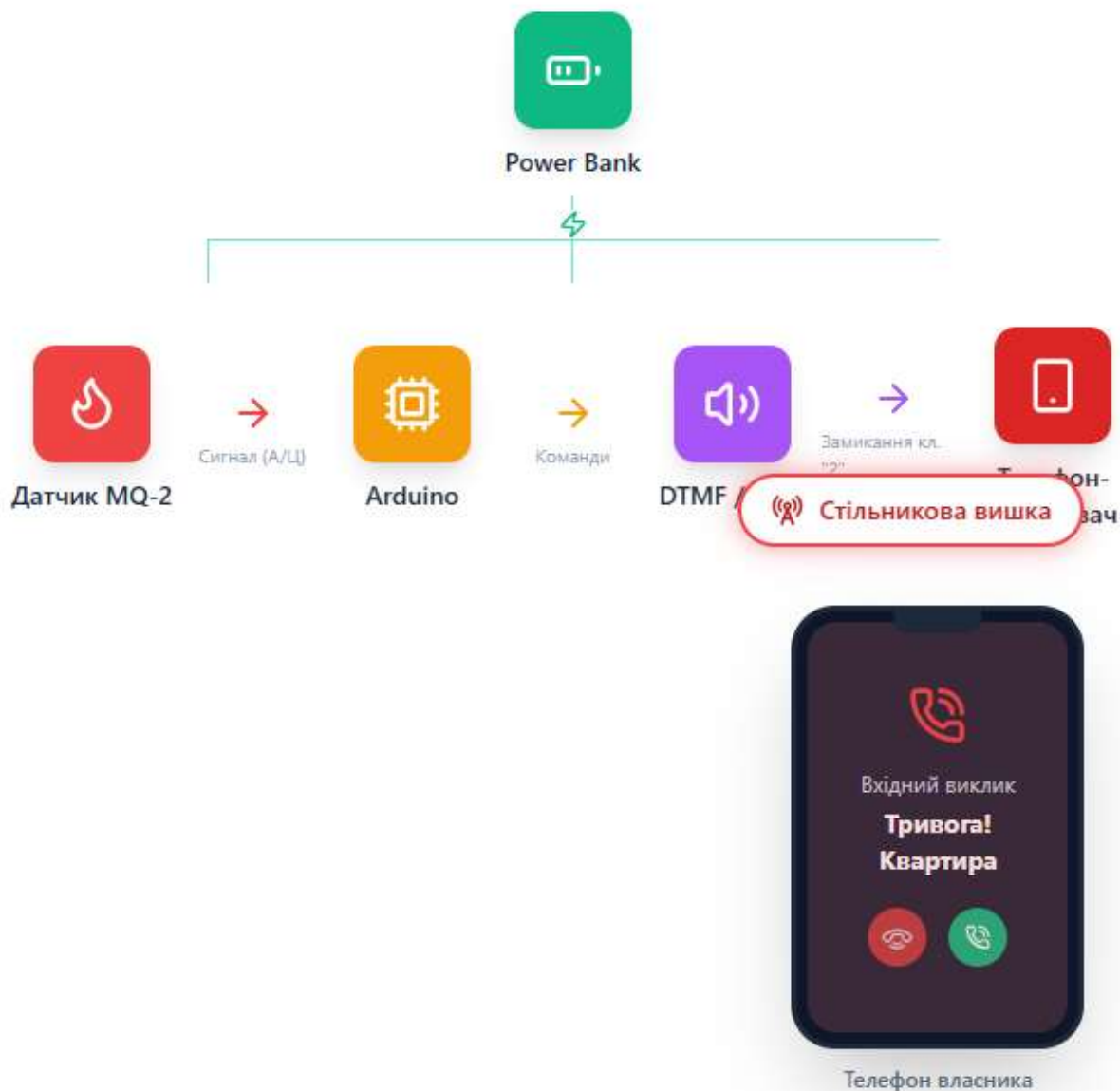


Рисунок 3.4. Надсилання сигналу тривоги на телефон
Перевагами запропонованого рішення є:

- Висока надійність завдяки апаратному замиканню контактів виключаються програмні збої, які можуть виникнути при використанні складних GSM-модулів (немає потреби в ініціалізації АТ-команд тощо).
- Використання Power Bank та власного акумулятора телефону робить систему повністю незалежною від стану побутової електромережі.
- Стільниковий зв'язок дозволяє миттєво доставити сигнал тривоги власнику, незалежно від його місцезнаходження (за умови наявності покриття мобільної мережі).

3.4 Висновки до розділу 3

У розділі розроблено, програмно описано та апаратно реалізовано комплексну систему протипожежної та газової безпеки житлового об'єкта в концепції «Розумний дім». На основі твердотільних напівпровідникових сенсорів серії MQ-2, підключених через плату розширення Troyka Shield до мікроконтролера Arduino, створено функціонально-структурну схему комплексу технічних засобів для двокімнатної квартири площею 85 м². Фізичний принцип фіксації загроз базується на зміні провідності тонкоплівкового шару діоксиду олова при адсорбції молекул газу чи диму, що забезпечує надвисоку чутливість системи вже при досягненні концентрації понад 0,2% від нижньої межі поширення полум'я.

Оригінальність інженерного рішення полягає в апаратній інтеграції керуючої електроніки зі звичайним мобільним телефоном через модуль комутації, підпаяний до контактів клавіші швидкого набору. Це дозволяє імітувати фізичне затискання кнопки й здійснювати екстрений виклик через стільникову мережу GSM без використання складних програмних АТ-команд. Розроблений алгоритм моніторингу, написаний на мові C/C++ у середовищі Arduino IDE, реалізує нескінченний цикл опитування датчиків із фільтрацією завад та передбачає функцію дистанційного реагування. Прийнявши тривожний дзвінок, власник може активувати дренчерну систему локалізації пожежі

шляхом надсилання двотонального багаточастотного сигналу DTMF при натисканні клавіші на смартфоні.

Проектована система відрізняється низьким енергоспоживанням та високою автономністю завдяки використанню зовнішнього джерела живлення Power Bank і власного акумулятора телефону, що робить її незалежною від аварійних вимкнень електромережі. Серед недоліків відзначено слабку селективність широкосмугових сенсорів, вимогливість до точного просторового монтажу поза зонами кухонних парів та наявність великої кількості фізичних дротів. Перспективним напрямком модернізації визначено перехід від дротової структури до використання сучасних бездротових протоколів передачі даних Wi-Fi, Bluetooth або Zigbee безпосередньо з вимірювальних вузлів системи.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на робочому місці

Безпосередня розробка даного інженерного проекту, написання програмного забезпечення, а також апаратне складання діючого макета та його подальше комплексне налагодження здійснюються в спеціалізованому виробничому приміщенні. Фізичні лінійні розміри кімнати становлять 5х4х3м, що відповідає загальній корисній площі 20м² та сумарному внутрішньому об'єму повітряного простору 60м³ (рисунок 4.1).

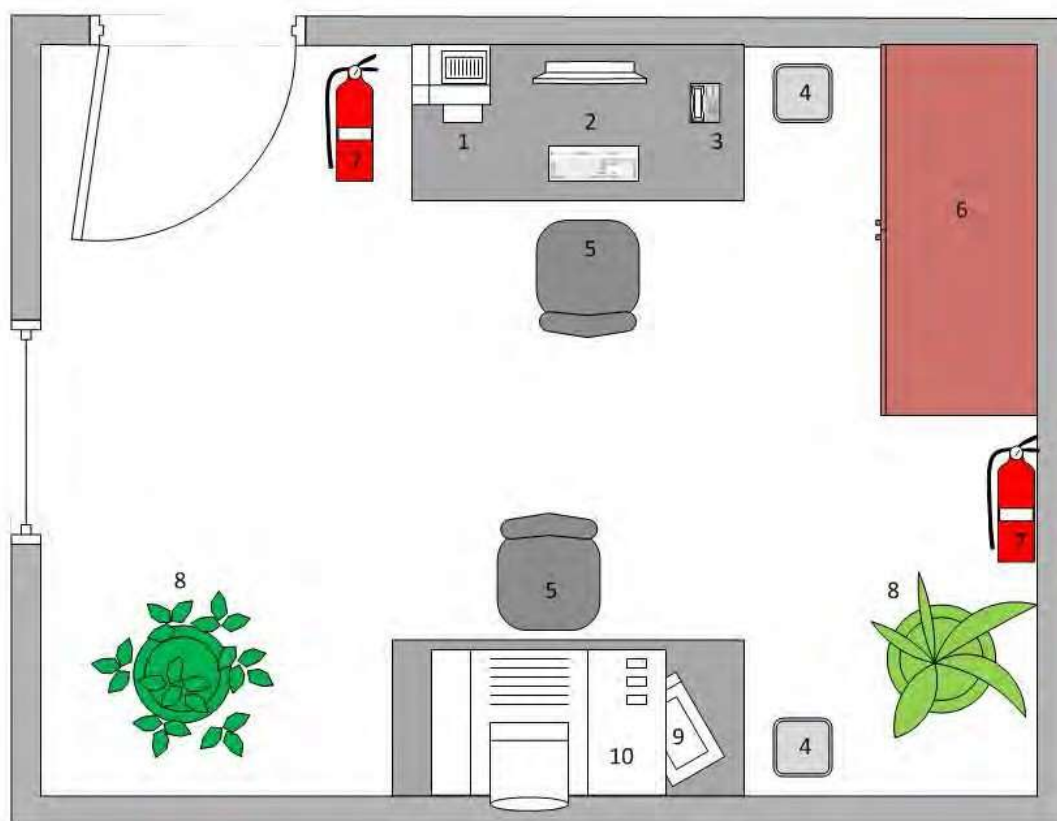


Рисунок 4.1 — Схема та план-розміщення обладнання в робочому приміщенні

У досліджуваному приміщенні організовано два окремих робочих місця. Перше з них (основне) призначене для проведення теоретичного проектування, безпосереднього програмування мікроконтролерів та програмного налагодження; на ньому функціонує персональний комп'ютер (2), оснащений рідкокристалічним монітором, стандартний периферійний лазерний принтер (1)

та апарат стаціонарного домашнього (внутрішнього) телефонного зв'язку (3). Друге робоче місце виділене для виконання монтажних-складальних операцій, де проводиться паяння та збирання електронних вузлів із застосуванням сучасної паяльної станції (9). Також у просторі приміщення ергономічно розташовані регульовані комп'ютерні стільці (5), гардеробна шафа для одягу (6), первинні засоби пожежогасіння / вогнегасники (7), урни для виробничих та побутових відходів (4), живі кімнатні рослини (8) та локальна система примусової витяжної вентиляції / повітряний відсмоктувач (10).

На кожному робочому місці у цьому приміщенні існує постійна прихована небезпека ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом. Це пов'язано з інтенсивним використанням різноманітної вимірювальної та обчислювальної апаратури, яка може перейти в аварійний режим роботи внаслідок некоректного монтажу, порушення правил експлуатації або локальних збоїв у мережі живлення. Основними технічними причинами електротравматизму можуть стати: поява небезпечного потенціалу (напруги) на відкритих металевих струмопровідних частинах і корпусах обладнання внаслідок деструкції або пробоя внутрішньої ізоляції дротів, відсутність або недостатня ефективність захисного заземлення (занулення), механічні пошкодження зовнішньої ізоляції ліній живлення, а також критично підвищений рівень накопичення статичної електрики на робочих поверхнях. Окремим вагомим фактором ризику є недотримання працівниками базових правил та інструкцій з техніки безпеки при роботі з електроустановками.

Окрім того, у лабораторії існує висока ймовірність виникнення пожежі. Основними тригерами загоряння, як зазначалося вище, можуть послужити технічні несправності електрообладнання та ігнорування правил пожежної безпеки. Додатковим специфічним чинником ризику є безпосередня експлуатація паяльної станції: робоча температура жала паяльника під час монтажу радіодеталей та мікросхем підтримується в діапазоні 250–300°C. Така висока температура є джерелом підвищеної небезпеки не лише з точки зору займання навколишніх матеріалів, а й для здоров'я самого розробника, оскільки

існує ризик отримання термічних опіків як від прямого контакту з гарячим інструментом, так і внаслідок випадкового розбризкування розплавлених припоїв та хімічно активних флюсів. Для нівелювання цих факторів є обов'язковим постійне застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), а також спеціального допоміжного інструментарію (термостійких пінцетів, затискачів, кліщів тощо).

Згідно з фізико-хімічними характеристиками матеріалів, у даному приміщенні можливий розвиток пожеж таких класів: клас «А» — горіння твердих горючих речовин та матеріалів (папір, пластик, дерево), що супроводжується тривалим тлінням; а через наявність великої кількості обчислювальної техніки — клас «Е» — горіння електроустановок та апаратури, що перебувають під небезпечною електричною напругою. З міркувань мінімізації побічного деструктивного впливу вогнегасної речовини на дороговартісне та чутливе цифрове обладнання, на початковому етапі локалізації пожежі (наприклад, при загорянні внутрішньої проводки чи системного блока) слід застосовувати виключно вуглекислотні вогнегасники (ОУ). Водночас, у разі виникнення розвиненого, масштабного вогнища пожежі класу «А», яке має велику площу термічного горіння, виникає об'єктивна необхідність використання потужніших порошкових вогнегасників (ОП).

У процесі виконання монтажних-складальних робіт шляхом високотемпературного паяння із застосуванням різноманітних каніфольних, кислотних чи синтетичних флюсів і багатокомпонентних припоїв, у повітряне середовище робочої зони неминуче виділяються шкідливі забруднюючі аерозолі, дрібнодисперсний пил та токсичні газоподібні сполуки (наприклад, пари свинцю, оксиди азоту, вуглецю тощо). Ці речовини здатні завдати суттєвої шкоди органам дихання та загальному здоров'ю людини. Як наслідок, приміщення має бути обов'язково обладнане ефективною та розрахованою системою припливно-витяжної або місцевої вентиляції, яка здатна забезпечити нормативний кратний повітрообмін, необхідний для повної утилізації та виведення забруднюючих речовин, що виділяються під час роботи [1].

У разі невідповідності хоча б одного з ключових параметрів внутрішнього мікроклімату нормативним вимогам, виникає серйозний ризик стрімкого погіршення загального самопочуття персоналу, суттєвого зниження розумової та фізичної працездатності, а також розвитку хронічних професійних порушень стану здоров'я. До таких базових параметрів належать:

- а) температура повітря в робочій зоні;
- б) температура навколишніх поверхонь та огорожувальних конструкцій;
- в) відносна вологість повітря;
- г) швидкість руху повітряних потоків у приміщенні.

Показники виробничого мікроклімату повинні суворо відповідати чинним державним санітарним нормам та стандартам безпеки праці (зокрема, вимогам ДСНіП 3.3.6.042-99 або ГОСТ 12.1.005-88). Оптимальні параметри мікрокліматичних умов для робочих місць, залежно від важкості праці та періоду року, зведені в таблиці 4.1 [2].

Розміщені неподалік від безпосередніх робочих місць живі кімнатні рослини виконують важливу екологічну та ергономічну функцію: вони активно сприяють природній оптимізації повітряного середовища (збагачують його киснем та фітонцидами), допомагають ефективно знімати психоемоційне та нервово напруження, загальну втому, а також суттєво знижують рівень зорової втоми (астенопії) при тривалій роботі з моніторами.

Таблиця 4.1 — Оптимальні показники виробничого мікроклімату на робочому місці

Період року	Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт	Температура повітря, °С	Температура поверхонь, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	1а (легка-Іа, до 138 Вт)	22–24	21–25	60–40	0.1
	1б (легка-Іб, 140–173 Вт)	21–23	20–24	60–40	0.1

	2а (середньої важкості-Іа, 175–231 Вт)	19–21	18–22	60–40	0.2
	2б (середньої важкості-Іб, 232–290 Вт)	17–19	16–20	60–40	0.2
	3 (важка-ІІІ, більше 290 Вт)	16–18	15–19	60–40	0.3
Теплий	1а (легка-Іа, до 138 Вт)	23–25	22–26	60–40	0.1
	1б (легка-Іб, 140–173 Вт)	22–24	21–25	60–40	0.1
	2а (середньої важкості-Іа, 175–231 Вт)	20–22	19–23	60–40	0.2
	2б (середньої важкості-Іб, 232–290 Вт)	19–21	18–22	60–40	0.2
	3 (важка-ІІІ, більше 290 Вт)	18–20	17–21	60–40	0.3

Аналізуючи архітектурне планування лабораторії (рисунк 4.1), можна помітити, що кімната оснащена лише одним віконним прорізом з лівого боку. Через це виникає висока ймовірність того, що природного (природного) освітлення, яке створюється небесними світилами, буде катастрофічно недостатньо для забезпечення нормальних та безпечних умов праці. Відповідно до сучасних нормативних вимог (ДБН В.2.5-28:2018 або ДСТУ EN 12464-1), мінімальна середня освітленість на робочих поверхнях у приміщеннях з тривалим перебуванням людей та роботою за ПК має становити не менше 220–300 лк (люкс).

З огляду на це, в лабораторії має бути грамотно та якісно спроектоване штучне загальне освітлення, яке повністю відповідає об'ємно-геометричним параметрам кімнати, а також організоване локальне (додаткове) підсвічування безпосередньо на робочих столах за допомогою настільних ламп. У протилежному випадку існує високий ризик стрімкого падіння працездатності, прогресуючого погіршення зору, швидкого розвитку загального фізичного та психоемоційного виснаження людей, які тривалий час перебувають у цьому

середовищі [3].

Тривала, безперервна та інтенсивна робота за екраном персонального комп'ютера без дотримання режимів відпочинку неминуче призводить до розладів акомодатії та падіння гостроти зору. Безперервне перебування перед монітором без регламентованої технічної перерви не повинно перевищувати двох годин; наполегливо рекомендується кожен годину здійснювати планові розвантажувальні перерви тривалістю 10–15 хвилин з виконанням спеціальної гімнастики для очей.

Ще одна прихована загроза при регулярній експлуатації комп'ютерної техніки полягає в тому, що працююче обладнання є постійним джерелом широкодіапазонного електромагнітного випромінювання (ЕМВ). Систематичне перевищення гранично допустимих рівнів (ГДР) ЕМВ та його тривалий сумарний вплив на організм викликають глибокі негативні патологічні зміни у функціонуванні життєво важливих систем. Це зумовлено тим, що зовнішні електромагнітні поля здатні спотворювати природну біоелектричну частоту роботи внутрішніх органів. На перших етапах хронічний вплив ЕМВ маскується під загальну слабкість, підвищену втому, стійкі порушення сну (безсоння), погіршення когнітивних функцій (пам'яті, концентрації), а також розлади вегетативних функцій серцево-судинної системи. Однією з найбільш чутливих (сенситивних) систем людського організму до ЕМВ є центральна та периферична нервова система — вона зазнає деструктивного впливу першою, оскільки внаслідок опромінення значно погіршується синаптична провідність нейронів. Як результат, виникають збої у вищій мозковій діяльності, часті зміни настрою, апатія або депресивні стани. Також суттєво страждає гуморальний імунітет, що проявляється у його супресії (пригніченні захисних сил), ризику утворення аутоімунних антитіл та зниженні концентрації лімфоцитів у крові, а також у збоях секреції життєво важливих гормонів залозами ендокринної системи.

Варто акцентувати увагу на тому, що шкідливе електромагнітне випромінювання генерується як безпосередньо дисплеєм, так і імпульсними блоками живлення системного блока. При цьому негативний вплив системного

блока можна легко мінімізувати шляхом його раціонального віддалення від тіла користувача на безпечну відстань (не менше 0.7–1 м) або застосуванням захисних екрануючих металевих кожухів. Водночас відеомонітор за умов праці завжди розташований у безпосередній близькості до обличчя та очей людини, тому параметри його випромінювання повинні суворо відповідати жорстким критеріям міжнародних та національних стандартів (наприклад, вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 або стандартів серії TCO / EN 50279). У таблиці 4.2 наведено гранично допустимі значення основних параметрів електромагнітних полів для сучасних відеомоніторів [4].

Таблиця 4.2 — Гранично допустимі рівні (ГДР) параметрів ЕМВ для відеодисплейних терміналів

Найменування фізичних параметрів полів	Гранично допустиме значення
Напруженість електромагнітного поля за електричною складовою (на відстані 50 см від поверхні екрана)	10 В/м
Напруженість електромагнітного поля за магнітною складовою (на відстані 50 см від поверхні екрана)	0.3 А/м
Напруженість електростатичного поля на поверхні не повинна перевищувати: — для дорослих користувачів (виробничі умови) — для студентів вищих та учнів середніх спеціальних навчальних закладів	20 кВ/м 15 кВ/м

Окремим організаційним фактором, який здатний безпосередньо призвести до нещасних випадків, механічних травм (падіння, забої) та виникнення інших небезпечних загроз (наприклад, блокування шляхів евакуації при пожежі), є банальне захащення робочих місць, накопичення сторонніх предметів на столах та звуження проходів між елементами меблів.

З метою ефективного зниження та повної мінімізації всіх перерахованих

вище ризиків, небезпек та шкідливих виробничих факторів, кожен працівник перед безпосереднім початком виконання робіт зобов'язаний здійснити ретельний візуальний огляд свого робочого простору. У разі виявлення недоліків необхідно оперативно навести порядок, повністю звільнити проходи та евакуаційні шляхи, а також ретельно перевірити цілісність і комплектність засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Шляхом зовнішнього огляду слід переконатися в повній технічній справності електроприладів (відсутності оголених дротів, тріщин на корпусах), оцінити рівень освітленості столів, увімкнути та перевірити працездатність локальної витяжної вентиляції, упевнитися в наявності та доступності засобів пожежогасіння (вогнегасників), а також перевірити візуальну цілісність заземлюючих провідників і контурів. Під час виконання поточних завдань кожен співробітник повинен неухильно дотримуватися загальних правил техніки безпеки, інструкцій з пожежної безпеки та оперативно застосовувати відповідні ЗІЗ за першої необхідності.

4.2 Висновки до розділу 4

У ході аналізу умов праці та безпеки в лабораторії площею 20 м² і об'ємом 60 м³ ідентифіковано комплекс небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що супроводжують процес теоретичного проєктування, програмування мікроконтролерів та монтажно-складальних операцій. Основними джерелами техногенної небезпеки визначено широке коло обчислювальної та вимірювальної апаратури, паяльну станцію з робочою температурою інструменту до 300°C, а також ймовірне захаращення евакуаційних шляхів. Дані технічні засоби та процеси створюють постійний ризик електротравматизму через пробій ізоляції чи відсутність заземлення, термічних опіків при роботі з припоями, а також виникнення пожеж класів «А» та «Е», для локалізації яких обґрунтовано комбіноване використання вуглекислотних і порошкових вогнегасників.

Серед шкідливих чинників особливу увагу приділено токсичним аерозолям, парам свинцю та оксидам газів, що виділяються під час паяння з використанням хімічно активних флюсів, що вимагає обов'язкового розрахунку та експлуатації локальної витяжної вентиляції для забезпечення нормативного повітрообміну. Виявлено невідповідність природного освітлення нормам через наявність лише одного віконного прорізу, що зумовлює необхідність впровадження суміщеної системи загального та місцевого штучного підсвічування робочих зон на рівні 220–300 лк. Додатково оцінено хронічний негативний вплив широкодіапазонного електромагнітного випромінювання від моніторів та системних блоків на центральну нервову, імунну та ендокринну системи людини, для нівелювання якого регламентовано дотримання безпечної дистанції до техніки, використання екранованих кожухів та введення обов'язкових технічних перерв. На основі проведеного дослідження сформовано чіткий регламент превентивних заходів, що включає обов'язковий передпусковий контроль цілісності ізоляції, перевірку контурів заземлення, оцінку параметрів мікроклімату відповідно до санітарних норм та безперервне обов'язкове застосування засобів індивідуального захисту.

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було успішно вирішено комплекс інженерно-технічних завдань, спрямованих на проектування та дослідження мікроконтролерної системи автоматизації та пожежної безпеки квартири житлового комплексу. На основі проведеного аналізу сучасних тенденцій розвитку технологій «Розумний дім» та критичного перегляду існуючих комерційних аналогів було теоретично обґрунтовано й практично доведено необхідність створення доступного, модульного та енергоефективного рішення. Розроблене інженерне рішення орієнтоване на підвищення рівня захищеності індивідуального житлового фонду від техногенних загроз без необхідності складного монтажу та руйнування інтер'єру.

Для технічної реалізації спроектованої системи було детально вивчено сучасний ринок мікропроцесорної техніки та периферійних пристроїв, що дозволило здійснити оптимальний підбір елементної бази. Основу апаратного комплексу склала популярна мікроконтролерна платформа, до якої підключено набір аналогових та цифрових датчиків для моніторингу параметрів навколишнього середовища. До складу системи увійшли датчики диму та газу, сенсори температури, а також виконавчі механізми та блоки індикації, що у сукупності сформувало надійну та швидкодіяну апаратну архітектуру. Особливу увагу було приділено енергозабезпеченню та стабілізації сигналів, що дозволило досягти високої завадостійкості та автономності роботи всього комплексу.

Наукова та практична новизна роботи полягає у розробці гнучкого програмно-алгоритмічного забезпечення для мікроконтролера та інтеграції каналів віддаленого зв'язку. Було успішно запрограмовано багаторівневу логіку обробки сигналів із датчиків, яка дозволяє системі не лише миттєво фіксувати факт перевищення граничних концентрацій чадного газу чи критичного стрибка температури, а й класифікувати рівень загрози. У разі виявлення небезпеки система автоматично запускає локальні засоби оповіщення та задіює інтегрований DTMF-декодер разом із GSM/аудіо-модулями. Це забезпечує

оперативне голосове та текстове інформування власника житла про характер аварії в режимі реального часу, незалежно від його поточного місцезнаходження.

Кінцевим етапом роботи стало комплексне тестування створеного прототипу та аналіз його функціональних характеристик. Експериментальна перевірка підтвердила високу динамічну точність вимірювань, мінімальний час затримки при передачі тривожних сповіщень та стабільність роботи алгоритмів самодіагностики. Спроектowana система продемонструвала повну відповідність сучасним вимогам до засобів побутової автоматизації та пожежної безпеки, а її низька собівартість і модульна структура відкривають широкі перспективи для подальшого масштабування та впровадження на практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

Програма сповіщення про пожежну безпеку

```
#include <EEPROM.h>
#include <SD.h>      // Бібліотека для роботи з SD-картою
#include <TMRpcm.h>   // Бібліотека для асинхронного відтворення WAV
файлів

TMRpcm tmrpcm; // Створення об'єкта для аудіоплеєра

// Масив назв аудіофайлів на SD-карті (без розширення .wav)
const char* audioFiles[] = {
  "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9", "20",
  "on", "off", "lamp", "degrees", "temp", "control", "monitor"
};

// Визначення пінів для DTMF-декодера (наприклад, MT8870)
// Індеси: 0..3 - інформаційні піни, 4 - цифра '5', 5 - кнопка '#', 6 - пін STD
(наявність сигналу)
const int DTMF_PINS[] = {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8};
const int STD_PIN_INDEX = 6; // Індекс піна STD (дізнаємося, чи є взагалі
сигнал DTMF)
const int MODE_PIN_INDEX = 5; // Індекс піна кнопки '#' для зміни режиму
const int TEMP_PIN_INDEX = 4; // Індекс піна кнопки '5' для запиту
температури

// Масив пінів для керування реле або світлодіодами (A2, A3, A4, A5 на Arduino
Uno)
const int LED_PINS[] = {16, 17, 18, 19};

const int TEMP_SENSOR_PIN = A0; // Піл аналогового датчика температури
const int SD_CS_PIN = 10;      // Піл керування (CS) для SD-карти
const int SPEAKER_PIN = 9;    // Піл виходу на динамік/телефонну лінію

bool isMonitorMode = true; // Стан системи: true - моніторинг, false - керування
(заміна змінній Lock)

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  tmrpcm.speakerPin = SPEAKER_PIN; // Прив'язка аудіовиходу до 9-го піна
```

```

// Ініціалізація SD-карти
if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
    Serial.println("SD fail");
    return;
}
Serial.println("SD ok");

// Налаштування пінів DTMF як входів
for (int i = 0; i < 7; i++) {
    pinMode(DTMF_PINS[i], INPUT);
}

// Налаштування пінів керування навантаженням як виходів
for (int i = 0; i < 4; i++) {
    pinMode(LED_PINS[i], OUTPUT);
}

/* * ТЕСТОВИЙ БЛОК EEPROM (Оригінальна логіка перевірки треків при
скиданні через Reset)
* Якщо цей функціонал потрібен для тестування динаміка, розкоментуйте код
нижче.
* * int testIndex = EEPROM.read(0);
* EEPROM.write(0, testIndex + 1);
* if (testIndex >= 16) EEPROM.write(0, 0);
* tmrpcm.play(audioFiles[testIndex]);
*/
}

void loop() {
    // Перевіряємо, чи є активний сигнал від DTMF-декодера (пін STD
встановився в HIGH)
    if (digitalRead(DTMF_PINS[STD_PIN_INDEX]) == HIGH) {

        // 1. ПЕРЕМИКАННЯ РЕЖИМІВ (Натиснуто '#')
        if (digitalRead(DTMF_PINS[MODE_PIN_INDEX]) == LOW) {
            delay(500); // Захист від брязкання контактів / повторного спрацьовування
            isMonitorMode = !isMonitorMode; // Інвертуємо режим роботи

            if (!isMonitorMode) {
                tmrpcm.play(audioFiles[15]); // Відтворюємо "control" (Режим керування)
            } else {
                tmrpcm.play(audioFiles[16]); // Відтворюємо "monitor" (Режим моніторингу)
            }
            delay(500);
            return;
        }
    }
}

```

```

    }

    // 2. ЗАПИТ ТЕМПЕРАТУРИ (Натиснуто цифру '5')
    else if (digitalRead(DTMF_PINS[TEMP_PIN_INDEX]) == LOW) {
        delay(500);
        int rawTemperature = analogRead(TEMP_SENSOR_PIN);

        // Конвертуємо отримане значення з датчика в діапазон від 1 до 9
        int mappedValue = map(rawTemperature, 300, 900, 1, 9);
        int actualTemperature = mappedValue + 21; // Фінальна температура (від 22 до
30)

        Serial.print("Temperature Sensor: ");
        Serial.println(actualTemperature);

        delay(500);
        tmrpcm.play(audioFiles[14]); // Озвучуємо: "temp" (Температура)
        delay(1000);
        tmrpcm.play(audioFiles[9]); // Озвучуємо: "20" (Двадцять)
        delay(700);
        tmrpcm.play(audioFiles[mappedValue]); // Озвучуємо одиниці градусів (файли
"1"- "9")
        delay(1000);
        tmrpcm.play(audioFiles[13]); // Озвучуємо: "degrees" (Градусів)
        delay(500);
        return;
    }

    // 3. КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ (Перевірка інформаційних пінів
0..3)
    else {
        for (int i = 0; i < 4; i++) {
            if (digitalRead(DTMF_PINS[i]) == LOW) {
                if (!isMonitorMode) { // Виконується тільки якщо активовано режим
"Керування"
                    digitalWrite(LED_PINS[i], !digitalRead(LED_PINS[i])); // Змінюємо стан
реле/LED на протилежний
                    playAudioMessage(i); // Передаємо індекс каналу у функцію сповіщення
                }
                break; // Перериваємо цикл після першої знайденої команди
            }
        }
    }
}
}
}
}
}

```

```

// Функція голосового звіту про стан каналу (навантаження)
void playAudioMessage(int channelIndex) {
    delay(500);
    tmrpcm.play(audioFiles[12]); // Озвучуємо: "lamp" (Лампа)
    delay(500);
    tmrpcm.play(audioFiles[channelIndex]); // Озвучуємо номер лапи (файли "1"-"4",
    відповідно до індексу "0"-"3")
    delay(700);

    if (digitalRead(LED_PINS[channelIndex]) == HIGH) {
        tmrpcm.play(audioFiles[10]); // Озвучуємо: "on" (Ввімкнена)
    } else {
        tmrpcm.play(audioFiles[11]); // Озвучуємо: "off" (Вимкнена)
    }
}

```