

УДК 614.8

№ держреєстрації 0115U002042

Інв. №

Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Національний університет цивільного захисту України
61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94, тел. (057) 707-34-20

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор НУЦЗ України

доктор наук з державного управління, професор

В.П. Садковий

“ ___ ” _____ 2016 р.

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

Дослідження можливості створення адресного лінійного сповіщувача
полум'я з використанням ефекту хемоіонізації

Проректор НУЦЗ України
з наукової роботи
доктор технічних наук, професор

В.А. Андронов

Керівник НДР

доцент кафедри автоматичних систем
безпеки та інформаційних технологій,
кандидат технічних наук, доцент

С.М. Бондаренко

2016

Рукопис закінчено 19 грудня 2016 року

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР:

доцент кафедри автоматичних систем
безпеки та інформаційних технологій,
кандидат технічних наук, доцент

С.М. Бондаренко
(розділи 2, 3
висновки)

Відповідний виконавець:

начальник кафедри
автоматичних систем
безпеки та інформаційних технологій
кандидат техн. наук, доцент
(передмова,
розділ 1)

О.А. Дерев'янку

доцент кафедри
автоматичних систем
безпеки та інформаційних технологій
кандидат техн. наук, доцент
(розділ 4)

М.М. Мурін

ад'юнкту кафедри
автоматичних систем
безпеки та інформаційних технологій

В.В. Калабанов
(розділи 2, 3, 4)

викладач кафедри
автоматичних систем
безпеки та інформаційних технологій
(розділ 3)

О.А. Антошкін

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 100 с., 42 рис., 29 джерел.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ – сповіщувач полум'я з використанням ефекту хемоіонізації.

МЕТА РОБОТИ – довести можливість створення сповіщувача полум'я з лінійним чутливим елементом, що здатний виявляти осередок пожежі в тіньових зонах.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ математичного моделювання, теорії операційного обчислення та теорії планування експерименту.

Результати науково-дослідної роботи представлені у вигляді математичних моделей лінійного сповіщувача полум'я з використанням ефекту хемоіонізації, функціональних та принципівих схем лінійного сповіщувача полум'я, рекомендацій щодо застосування лінійного сповіщувача полум'я на об'єктах різного призначення.

Результати НДР впроваджені у вигляді математичних моделей лінійного сповіщувача полум'я в динамічному та статичному режимах, які використовуються в навчальному процесі НУЦЗ України, функціональної та принципової схеми сповіщувача полум'я, які використовуються при розробці новітніх зразків засобів пожежної сигналізації провідними підприємствами м. Харкова.

СИСТЕМА ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ, ХЕМОІОНІЗАЦІЯ, ЛІНІЙНИЙ СПОВІЩУВАЧ ПОЛУМ'Я.

ПЕРЕДМОВА

Проведені дослідження за темою НДР “ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ АДРЕСНОГО ЛІНІЙНОГО СПОВІЩУВАЧА ПОЛУМ’Я З ВИКОРИСТАННЯМ ЕФЕКТУ ХЕМОІОНІЗАЦІЇ”

Замовник – ДСНС України (Державний Департамент нагляду (контролю) у сфері пожежної, техногенної безпеки та цивільного захисту).

Виконавець – кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій НУЦЗ України.

Термін початку роботи – січень 2015 року, термін закінчення роботи – грудень 2016 року.

Підставою для виконання є технічне завдання ДСНС України (Державний Департамент нагляду (контролю) у сфері пожежної, техногенної безпеки та цивільного захисту)

Звіт розглянуто та схвалено на засіданні кафедри “Автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій”, протокол № від 2016 р.

Звіт затверджено на засіданні вченої ради НУЦЗ України, протокол № від 2016 р.

Зміст

Вступ.....	6
1 Аналіз систем контролю та виявлення відкритого полум'я.....	8
1.1 Особливості організації протипожежного захисту об'єктів.....	8
1.2 Аналіз тенденцій розвитку пожежних сповіщувачів полум'я.....	9
1.3 Аналіз принципів побудови та роботи приладів, що використовують ефект хімічної іонізації для контролю відкритого полум'я.....	13
1.4 Аналіз принципів побудови та роботи пристроїв, що використовують ефект хімічної іонізації у сфері пожежної безпеки.....	23
2 Моделювання процесів, що відбуваються в лінійному сповіщувачі полум'я.....	29
2.1 Дослідження механізму утворення заряджених часток при полум'яному горінні.....	29
2.2 Фізична модель роботи активного сповіщувача полум'я в типових режимах.....	34
2.3 Математична модель активного сповіщувача полум'я в динамічному режимі.....	37
2.4 Статичні характеристики активного сповіщувача полум'я.....	41
3 Експериментальні дослідження чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я.....	48
3.1 Експериментальна установка для дослідження характеристик чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я.....	48
3.2 Вибір вихідних даних для дослідження чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я.....	50
3.3 Регресійні моделі вихідного сигналу чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я.....	53
3.3.1 Регресійна модель вихідного сигналу чутливого елемента для тестового осередку пожежі TF-1.....	53

3.3.2 Регресійна модель вихідного сигналу чутливого елемента для тестового осередку пожежі TF-4.....	59
3.3.3 Регресійна модель вихідного сигналу чутливого елемента для тестового осередку пожежі TF-5.....	64
3.3.4 Регресійна модель вихідного сигналу чутливого елемента для тестового осередку пожежі TF-6.....	69
3.4 Експериментальне визначення координат осередку пожежі за допомогою лінійного сповіщувача полум'я.....	73
4 Рекомендації по розробці та використанню лінійного сповіщувача полум'я.....	76
4.1 Вхідні параметри для розробки лінійного сповіщувача полум'я.....	76
4.2 Структурна та електрична схеми лінійного сповіщувача полум'я.....	78
4.3 Алгоритм роботи управляючої програми мікроконтролера лінійного сповіщувача полум'я.....	83
4.4 Рекомендації по розміщенню чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я на об'єкті.....	87
Висновки.....	90
Перелік посилань.....	92
Додатки.....	95
Додаток А Електрична принципова схема ЛСП.....	96
Додаток Б Лістинг управляючої програми для мікроконтролера STM32.....	97

ВСТУП

Актуальність теми. Як свідчить статистика за останні роки існує тенденція до зростання кількості пожеж, що на ряду з багатьма причинами обумовлене недосконалістю систем пожежної автоматики, зокрема пожежних сповіщувачів.

По ряду кількісних показників стосовно до систем пожежної автоматики Україна і країни СНД входять в групу провідних країн світу, але якісні показники, що відображають рівень технічних рішень в цій області трохи нижче, ніж у світі. Слід зазначити що одним з основних напрямків удосконалення систем пожежної автоматики (СПА) є вдосконалення пожежних сповіщувачів - первинних джерел інформації. Існує необхідність у зниженні ймовірності помилкового спрацьовування, підвищенні надійності, скороченні часу спрацьовування, зниження вартості, підвищення інформативності та ін.

За кордоном дослідження і розробки в області СПА ведуться Управлінням по дослідженню в галузі будівництва (BRE, Великобританія), Лабораторією будівництва та дослідження пожеж (BERL, США), Інститутом пожежних досліджень (FRI, Японія), та ін. В Україні подібною проблематикою займаються УкрНДІЦЗ, ДНВО "Меридіан", ТОВ «Аргус-Інформ», ВАТ «Проект ВО», ВАТ «Проект АО», ТОВ-НВП «Укргазгеоавтоматика», ТДВ «СКБ Електронмаш», НУЦЗУ та ін.

Цілі та задачі дослідження. Метою дослідження є обґрунтування можливості створення пожежного сповіщувача, що використовує ефект хімічної іонізації (хемоіонізації) для раннього виявлення осередку пожежі за ознакою відкритого полум'я і зниження впливу обмежень, властивих оптичним сповіщувачам полум'я на якість виявлення пожежі.

Для досягнення поставленої в роботі мети, в роботі вирішувались такі задачі:

- обґрунтувати можливості використання ефекту хемоіонізації в СПА;

- побудувати моделі, що адекватно описують процеси, що протікають в чутливому елементі (ЧЕ) пожежного сповіщувача (ПС);
- провести дослідження характеристик ЧЕ ПС;
- створити макетні зразки і установки для експериментального дослідження;
- розробити рекомендації щодо застосування ПС.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у:

- використанні ефекту хемоіонізації в системах пожежної автоматики;
- обґрунтуванні принципів побудови датчиків первинної інформації - лінійних сповіщувачів полум'я, заснованих на використанні ефекту хемоіонізації;
- побудові математичних моделей пожежних сповіщувачів на основі ефекту хемоіонізації;
- в отриманні методами теорії планування експерименту залежностей вихідного сигналу лінійного сповіщувача полум'я на основі ефекту хемоіонізації від координат розташування чутливого елемента, виду осередку пожежі та його площі.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що їх використання дозволить проектувати лінійні сповіщувачі полум'я з використанням ефекту хемоіонізації за задалегідь заданими параметрами. Результати досліджень впроваджені в АТ «Проект-ВО» при розробці системи пожежної сигналізації «Омега», а так само в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України при викладанні дисциплін «Автоматичні системи протипожежного захисту» та «Пожежна та виробнича автоматика».

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ РАННЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ВІДКРИТОГО ПОЛУМ'Я

1.1 Особливості організації автоматичного протипожежного захисту об'єктів

Сучасне виробництво характеризується тим, що має місце тенденція до збільшення концентрації технологічного обладнання на одиницю об'єму, що захищається, а також до інтенсифікації процесів за рахунок зростання тиску і температури робочого середовища, підвищення швидкості потоків речовин, зростання потужності електроустановок і т.д. Всі ці фактори сприяють збільшенню ймовірності виникнення пожежо-вибухонебезпечної ситуації, а в разі виникнення пожежі — збільшенню швидкості його поширення, що, у свою чергу вимагає впровадження принципово нових організаційно-технічних рішень щодо забезпечення протипожежного захисту об'єктів народного господарства.

Збиток, нанесений пожежами великим підприємствам, в 43% випадків веде до їх повної ліквідації, а в 23% випадків відбивається негативно на їх діяльності протягом трьох наступних років. У невеликій країні одна велика пожежа може дестабілізувати всю економіку. Не локалізована в початковій стадії свого розвитку, пожежа може перейти в фазу неконтрольовану силами і засобами оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС. Тому локалізація і ліквідація пожежі в його початковій стадії стає надактуальним завданням.

У координатах температура T і час t показаний умовний характер зміни інтегральної температури при вільному горінні (рис. 1.1) в початковій стадії пожежі. Характерною точкою на цій кривій є точка, в якій небезпечний фактор пожежі в приміщенні, що захищається, досягає гранично допустимого значення, і пожежа приймає катастрофічний характер для даного об'єкта. Цій точці відповідає критичний час $t_{кр}$. Криві 2 і 3 відповідають характеру зміни температури в приміщенні, що захищається, відповідно при гасінні і локалізації пожежі внаслідок включення в роботу автоматичної системи ($t_{ауп}$) до настання часу $t_{кр}$. Аналіз схеми показує, що зі збільшенням швидкості розвитку пожежі різко ускладнюються умови, в яких будуть працювати оперативні підрозділи ДСНС.

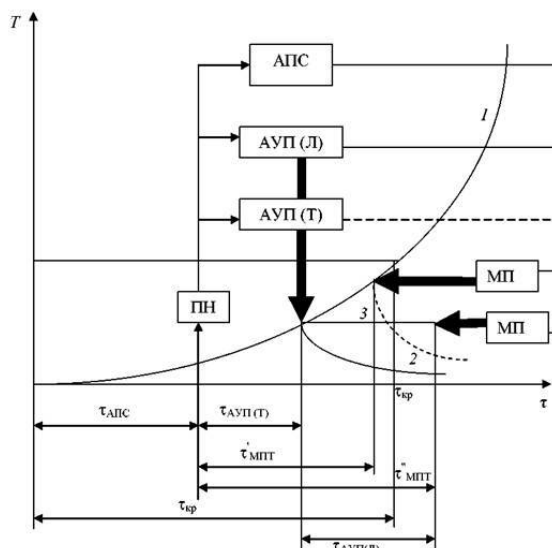


Рисунок 1.1 – Характер зміни температури при вільному горінні в початковій стадії пожежі

Одним з радикальних шляхів успішного вирішення завдання з локалізації та гасіння пожежі є збільшення часу $t_{кр}$, що принципово можливе шляхом застосування швидкодіючих автоматичних систем протипожежного захисту.

1.2 Аналіз тенденцій розвитку пожежних сповіщувачів полум'я

Всі пожежні сповіщувачі по виду інформаційного параметра пожежі, діляться на теплові, димові, газові, полум'я [1].

За конструктивним виконанням сповіщувачі поділяються на точкові, багато точкові та лінійні [1].

Сповіщувачі полум'я мають найменшу інерційність [1] і високу достовірність виявлення пожежі. Був проведений патентний аналіз на предмет використовуваних в них чутливих елементів (рис. 1.2), в результаті якого виявлено, що на поточний момент частіше застосовуються чутливі елементи інфрачервоного і ультрафіолетового діапазонів випромінювання полум'я.

Інфрачервоний (ІЧ) - реагують на інфрачервону частину спектру полум'я. Такий сповіщувач реагує на горіння речовин, що містять вуглець. Здатний

працювати в запилених приміщеннях, так як випромінювання в інфрачервоній частині спектра слабо поглинається пилом.

У ПС полум'я інфрачервоного діапазону як приймачі випромінювання найбільше застосування отримали фоторезистори і фотодіоди. Аналіз спектральних характеристик випромінювання полум'я різних горючих матеріалів і перешкод показав, що для забезпечення стійкості сповіщувачів до світлових дій максимум спектральної чутливості ІК фотоперетворювачів повинен знаходитися в області 2,7 і 4,3 мкм. Більшість же серійно випускаються ІК приймачів випромінювання загального застосування мають спектральні характеристики в більш короткому діапазоні ПЧ випромінювання, де в значній мірі проявляється вплив сонячного випромінювання і ламп розжарювання [2].

Сповіщувачі, область чутливості яких обрана в ближній інфрачервоній області спектра (наприклад, фотоперетворювачі з Si, Ge), володіють більш низькою завадостійкістю до впливу сонячного випромінювання, ніж сповіщувачі з фотоперетворювачами, спектр чутливості яких зміщений у більш довгохвильову область спектра, наприклад, PbS і PbSe [2].

Ультрафіолетовий (УФ) — цей вид датчиків став використовуватися в системах пожежної сигналізації не так давно, проте з кожним днем він стає все популярнішим. Найчастіше виробники УФ-датчиків використовують діапазон від 185 до 280 нм — область жорсткого ультрафіолету. Земна атмосфера захищає нас від жорстких сонячних УФ-променів, в результаті до земної поверхні ніколи не доходять промені з довжиною хвилі менше 286 нм. Саме тому ультрафіолетові датчики не реагують на сонячне випромінювання, яке є потужним джерелом оптичних перешкод [3].

Залежно від типу матеріалу детектора, чутливість сповіщувача буде різною для різних ділянок ультрафіолетового діапазону. Детектори, що використовують з'єднання нікелю, будуть виявляти полум'я в ультрафіолетовому діапазоні, якщо при горінні виділяються пари води.

Пожежні сповіщувачі полум'я з детекторами на основі молібдену мають спектральний діапазон чутливості +1850 ... +2650 ангстрем. Дані сповіщувачі підходять для виявлення горіння сірки [4].

В роботі виконано аналіз патентів на предмет спрямованості вдосконалень сповіщувачів полум'я (рис. 1.3), результати якого свідчать про те, що більшою мірою необхідно підвищувати надійність виявлення пожежі. Це пов'язано з тим, що існуючі сповіщувачі полум'я - оптичні і нездатні виявляти осередок пожежі в тіньових зонах. Також підвищення достовірності виявлення пожежі пов'язана з необхідністю зниження чутливості сповіщувача для зменшення можливості помилкового спрацьовування при появі в зоні, що захищається, хибного випромінювання на яке він реагує.

Однією з основних характеристик чутливого елемента сповіщувача полум'я є спектральна чутливість.

Спектральна чутливість — це чутливість фотоприймача до випромінювання з різною довжиною хвилі, вона визначається природою речовини, з якого зроблений в приладі світлочутливий шар і може змінюватися в широких межах. Такі приймачі променистої енергії, як термоелементи, болометри, оптико-акустичні приймачі, не володіють виборчої чутливістю в різних ділянках спектра.

Для вимірювання випромінювання у вузькому діапазоні застосовуються світлофільтри, що представляють собою пластини, що пропускають випромінювання певного спектрального складу. Для видимої частини спектру використовують кольорове скло, для ІЧ-фільтрів - слюда, фтористий літій, кам'яна сіль, силвін, бромистий калій і ін. [5].

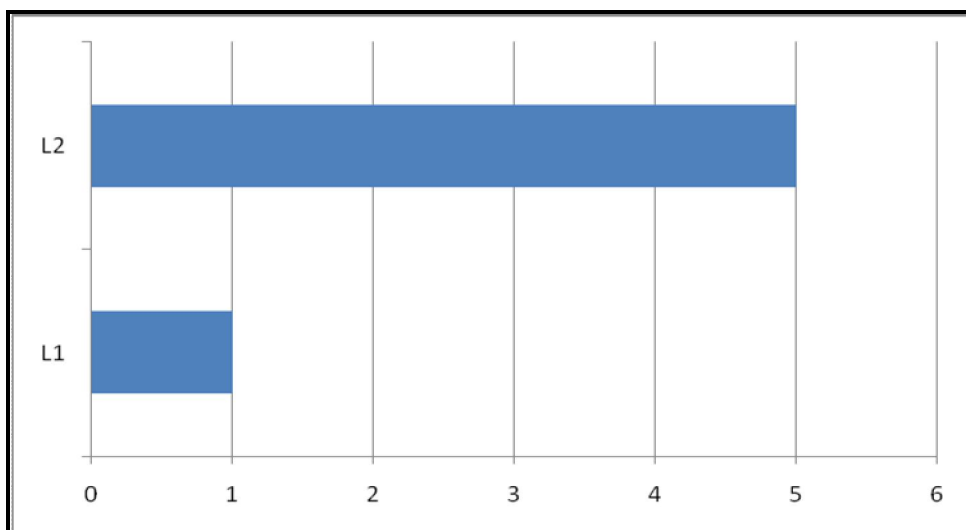


Рисунок 1.2 – Результати патентного аналізу спектра чутливих елементів сповіщувачів полум'я: L1- ультрафіолетового випромінювання; L2- інфрачервоного випромінювання.

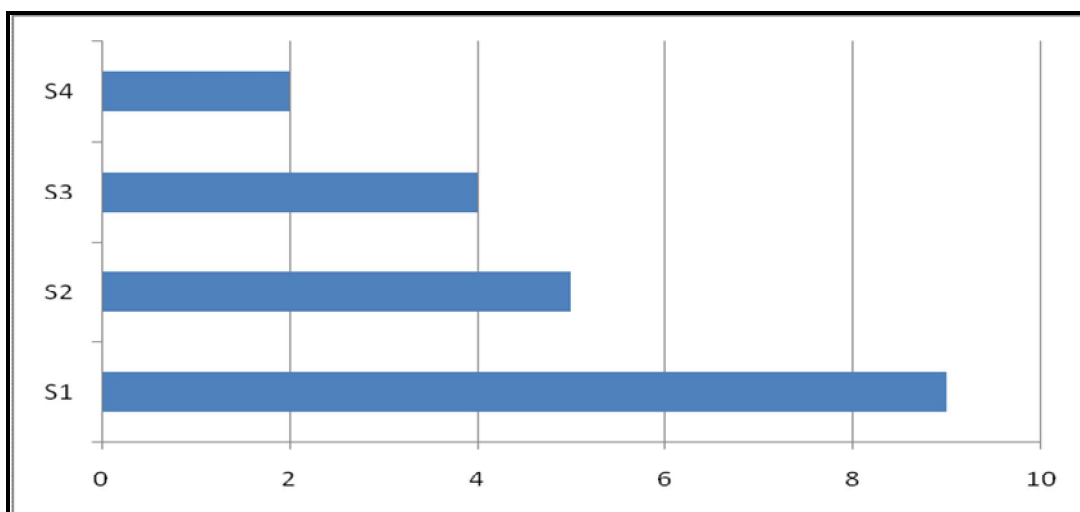


Рисунок 1.3 – Результати патентного аналізу по типам покращених характеристик сповіщувачів полум'я, де: S1 - підвищення надійності виявлення пожежі; S2 - зниження інерційності; S3 - підвищення чутливості; S4 - адаптація до видів пожеж.

За конструктивним виконанням існують тільки точкові сповіщувачі полум'я. Аналіз показав, що в даний час, серед використовуваних у світі, відсутні ПС іншого типу. В [6] зазначені методи випробування сповіщувачів полум'я, які

підходять тільки для оптичних сповіщувачів полум'я, що реагують на електромагнітне випромінювання полум'я.

На користь малої поширеності сповіщувачів полум'я свідчить їх висока ціна в порівнянні з тепловими та димовими сповіщувачами [7].

1.3 Аналіз принципів побудови та роботи приладів, що використовують ефект хемоіонізації для контролю відкритого полум'я

Для кращого розуміння фізики використання ефекту хемоіонізації у промисловості та повсякденному житті, було проаналізовано патентну інформацію по даному питанню. Нижче представлені схеми та принцип дії виробів, здатних контролювати наявність відкритого полум'я.

Іонізаційний датчик для контролю якості згоряння палива у ДВЗ (рис. 1.4). Управління горінням палива шляхом вимірювання та порівняння з еталонним значенням іонного струму в полум'ї і регулювання подачі палива, що відрізняється тим, що вимірювання та порівняння між собою величин іонного струму виробляють в зоні завершення згоряння палива, підтримуючи відношення величини виміряного іонного струму до величини іонного струму при коефіцієнті надлишку повітря, що дорівнює одиниці, в діапазоні 0,6-0,75, з метою підвищення точності.

Спосіб контролю та управління згорянням по п.1, що відрізняється тим, що при відношенні величини виміряного іонного струму до величини іонного струму при коефіцієнті надлишку повітря, що дорівнює одиниці, більшому 0,75, необхідно збільшення подачі палива, а при значеннях менших 0,6 - зменшення кількості палива.

Іонізаційний датчик, що містить два, ізольованих один від одного електрода, одним з яких є камера згоряння двигуна, що відрізняється тим, що, з метою вимірювання іонного струму в зоні завершення згоряння палива, другий електрод, ізольований від камери згоряння металевий стрижень, встановлюється у найбільш

віддаленій від свічки запалювання зони камери згоряння. Винахід відноситься до систем контролю і управління процесами займання і згорання палива, конкретно до систем контролю і управління процесу згорання вуглеводневого палива в камерах згорання ДВЗ

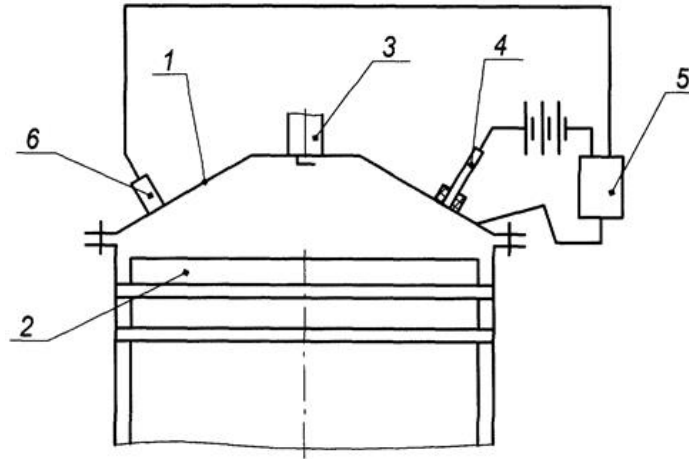


Рисунок 1.4 – Система контролю якості згорання палива у ДВЗ

Пристрій для захисту від зриву полум'я (рис. 1.5). Іонізаційними пристрій для захисту котлоагрегатів від обриву факелу пальника з примусовим наддувом, що містить контрольний електрод з контактним вузлом, коаксіально розміщений в опорній трубі, що проходить через сферичний шарнір, що фіксується на фронті котлоагрегату утримує вузлом, відмінне тим, що, з метою підвищення точності орієнтації контрольного електрода у ворота факела воно містить блок живлення постійного струму, еластичний діелектричний трубопровід, стопорний, що фіксує, центруючий гвинти і розрізне кільце, контрольний електрод виконаний у вигляді прохідної трубки із зігнутих кінцем, сферичний шарнір виконаний у вигляді пустотілого кулі з прохідною втулкою, що утримує вузол виконаний у вигляді обичайки з внутрішньої канавкою, а в опорній трубі виконані наскрізні отвори, причому прохідна трубка з'єднана з лінією примусового наддуву допомогою еластичного діелектричного трубопроводу, опорна труба закріплена в прохідній втулці стопорним гвинтом, а пустотіла куля закріплений в обечайке за допомогою напірного розрізного кільця, розміщеного у внутрішній канавці обичайки,

фіксує його і центруючого гвинтів. Установка контрольного електрода 1 у ворота факела здійснюється на малому режимі горіння наступним чином.

Послаблюються гвинти 14 і опорна труба 3 разом з порожнистим кулею 10 на наполегливому кільці 16 повертається таким чином, щоб вісь її була орієнтована приблизно в центр факела, після чого куля 10 центрується і фіксується гвинтами 14. Потім послаблюється гвинт 12 втулки 11 і труба 3 вводить всередину котлоагрегату до занурення відігнутого кінця електрода 1 в факел при відповідному повороті труби 3 у втулці 11, таким чином, щоб відігнутий кінець електрода 1 був орієнтований приблизно перпендикулярно осі факела

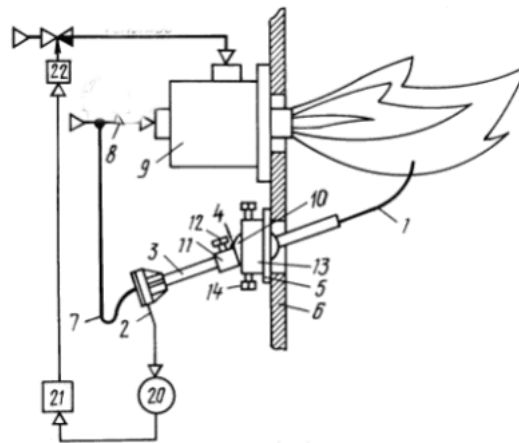


Рисунок 1.5 – Пристрій захисту від зриву полум'я

Пристрій контролю наявності полум'я (рис. 1.6). Пристрій контролю наявності полум'я, що містить джерело живлення, послідовно з'єднані датчик полум'я (іонізаційний електрод). В якості датчика полум'я може бути використано фоторезистор П. Дільник напруги і операційний диференційний підсилювач з жорстким зворотним зв'язком, підключений до виходу останньої, підсилювач вихідного сигналу, сигнальний елемент, виконавче реле і генератор, з'єднаний через конденсатор з дільником напруги, відмінне тим що, з метою підвищення надійності, воно містить фазочутливий підсилювач і два діоди, при чому

фазочутливий підсилювач включений між операційним диференціальним підсилювачем і підсилювачем вихідного сигналу, а діоди включені зустрічно між джерелом живлення і паралельно з'єднаними клемми живлення операційного диференційного підсилювача і фазочутливого підсилювача, при цьому ділянка напруги виконаний фазочутливим. При згасанні полум'я пальника від генератора або джерела змінного струму напругою 60-110 В через конденсатор 8 по ланцюгу резисторів 13 і 14 ділянка 2 напруги протікає змінний струм. Винахід відноситься до теплоенергетики, зокрема до автоматичного контролю і управління роботою горілочних пристроїв, та може бути використано для контролю наявності полум'я газових пальників котельних установок, а також в камерах згорання.

Метою винаходу є підвищення надійності при роботі теплоагрегатів на знижених режимах із збереженням стабільності захисту від перешкод на інших режимах роботи.

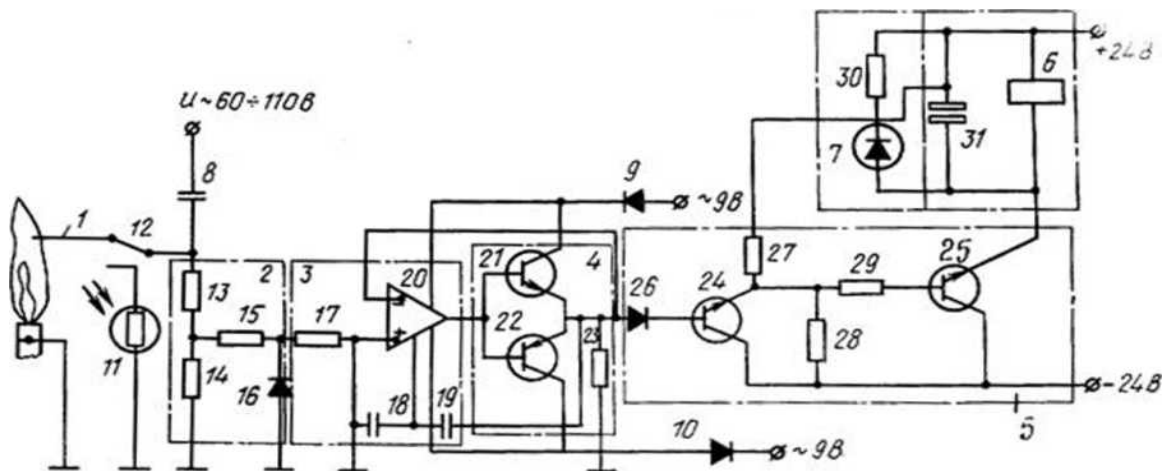


Рисунок 1.6 – Пристрій контролю наявності полум'я

Пристрій контролю якості горіння полум'я (рис. 1.7). Метою винаходу є підвищення точності вимірювання оптимального коефіцієнта аерації та одночасне здійснення контролю якості горіння і наявності полум'я. Пристрій контролю якості горіння, що містить датчик, пов'язаний з генератором, підсилювач,

підключений до детектора і індикатор, що відрізняється тим, що, з метою підвищення точності вимірювання оптимального коефіцієнта аерації, між датчиком і генератором включений каскад узгодження, один з виходів якого пов'язаний через смуговий фільтр зі входом детектора прямої провідності, один вихід якого підключений до регулятора рівня вихідного сигналу, сполученого з каскадом узгодження, а інший вихід детектора прямої провідності з'єднаний зі входом підсилювача низької частоти, вихід якого через каскад частотного перетворювача і випрямляч з'єднаний з суматором, до якого підключений через смуговий підсилювач і детектор інший вихід каскаду узгодження, а до виходу суматора підключений індикатор якості горіння. До зони горіння через датчик 1, каскад узгодження 4 і корпус пальника 2 з виходу генератора 3 підводиться змінний електричний сигнал.

Запропонований пристрій відрізняється високою точністю контролю якості спалювання, обумовленої виміром суми інтегральної і пульсаційної характеристик зони горіння, його можна використовувати при спалюванні газоподібних, рідких і пило-вугільних видів палив, можливий також одночасний контроль наявності процесу горіння. Поліпшенням пристрою визначається економією палива при експлуатації теплоенергетичних установок.

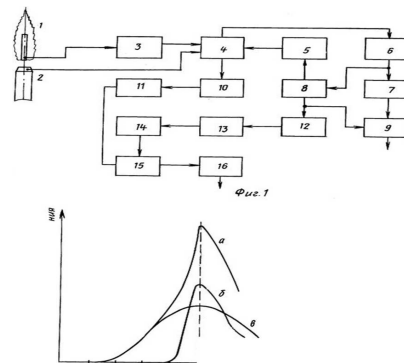


Рисунок 1.7 – Пристрій контролю якості горіння

Пристрій контролю наявності факела (рис. 1.8). Спосіб контролю наявності факела в топках, наприклад, в камерах згорання газових турбін,

вводяться електроди, з'єднані з релейно-підсилювальним пристроєм, що сприймає сигнали від генератора змінного струму, що відрізняється тим, що, з метою підвищення надійності контролю незалежно від роду палива і температури факела, для топок з металевим корпусом використовують електромагнітні або електричні наведення на корпус, наприклад від промислових електромереж і струмів розтікання контуру заземлення, а електричне з'єднання генератора з повільно-підсилювальним пристроєм виконують шляхом ємнісного зв'язку корпусу і електродів через електропровідну зону факела.

Спосіб, який відрізняється тим, що, з метою забезпечення контролю при відсутності зовнішніх наводок, в топку вводять випромінювач електромагнітних хвиль, наприклад іскровий розрядник або низькочастотний генератор. Спосіб, що відрізняється тим, що з метою контролю справності електрозапальних пристроїв, використовують їх електромагнітне випромінювання.

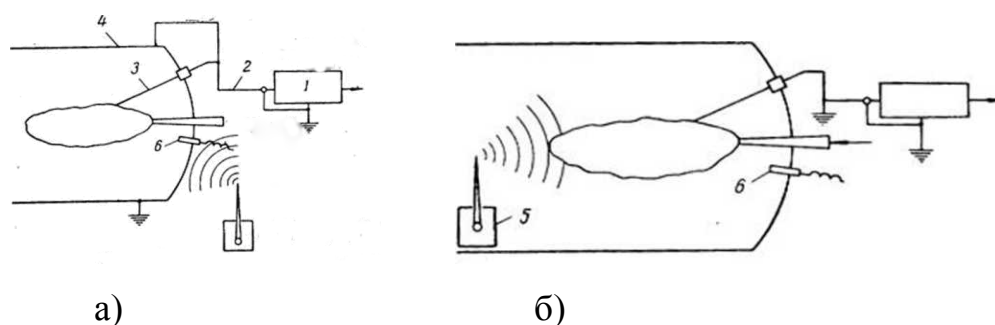


Рисунок 1.8 – Пристрій контролю наявності факела

Пристрій для контролю за процесом горіння в топці (рис. 1.9). Відомі пристрої для контролю процесу горіння в топках і тому подібних теплових агрегатах, що містять датчик, іонізаційний проміжок якого включений послідовно в ланцюг управління виконавчим механізмом, характеризуються тим недоліком, що за наявності витоку струму в ланцюзі датчика ці пристрої виявляються недієздатними.

Особливість запропонованого пристрою полягає в тому, що в ньому застосований фільтр, що виділяє з сигналу датчика коливання, пропорційні зміні

провідності зони горіння, причому вихід зазначеного фільтра підключений до виконавчого механізму.

Крім того, в зону горіння топки поміщена батарея з напівпровідникових термоелементів. Таке виконання пристрою дозволяє усунути вплив струму витоку на його роботу, а також використовувати джерело струму в якості додаткового датчика. На рисунку 1.9 а) схематично зображено пристрій для контролю процесу горіння з джерелом живлення постійного струму; на б) - те ж пристрій з джерелом живлення змінного струму.

Пристрій містить датчик І з вогнетривких електродів, наприклад карборундових, поміщених в зону 2 горіння і включених в ланцюг з блоком 3 живлення постійним струмом, в якості якого може бути використана батарея напівпровідникових термоелементів. Від датчика 1 на вхід низькочастотного підсилювача 4 потрапляє сигнал з частотою, що визначається частотою зміни провідності полум'я. Після посилення в підсилювачі 4 сигнал направляєтся в фільтр 5 для придушення перешкод промислової частоти, а потім у виконавчий механізм 6 подачі палива в топку.

У разі застосування батареї напівпровідникових термоелементів остання служить також додатковим датчиком горіння.

У пристрої з живленням ланцюга електродів змінним струмом (рис 1.9 б)) електроди датчика поміщені поза області зони 2 горіння і живляться від генератора 3 змінного струму. Сигнал з накладеними гармоніками підсилюється підсилювачем 4 і після фільтру 5, налаштованого на частоту напруги генератора 3 або детектора, надходить на виконавчий механізм 6 подачі палива в топку.

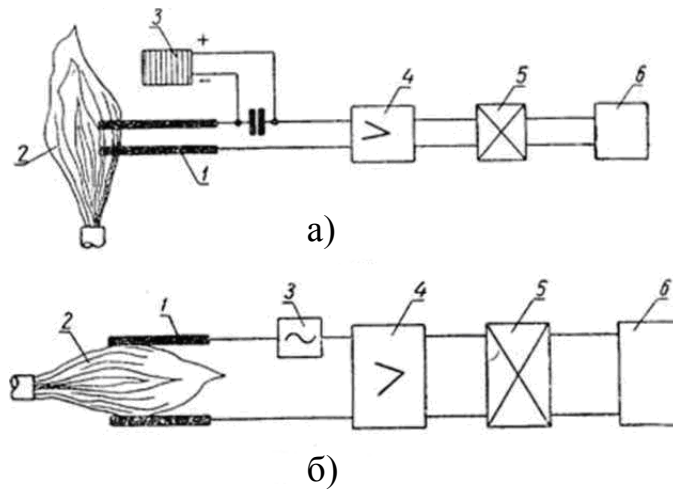


Рисунок 1.9 – Пристрій контролю за процесом горіння

Згідно проведеного аналізу встановлено, що 48% патентів було опубліковано в період з 1975-1985 рр. – пік винахідницької діяльності у даній галузі, з 1985р. спостерігається спад, у період з 2000-2005рр. публікації відсутні, 2005-2011рр. період відновлення робіт у даному напрямку(рис.1.10)

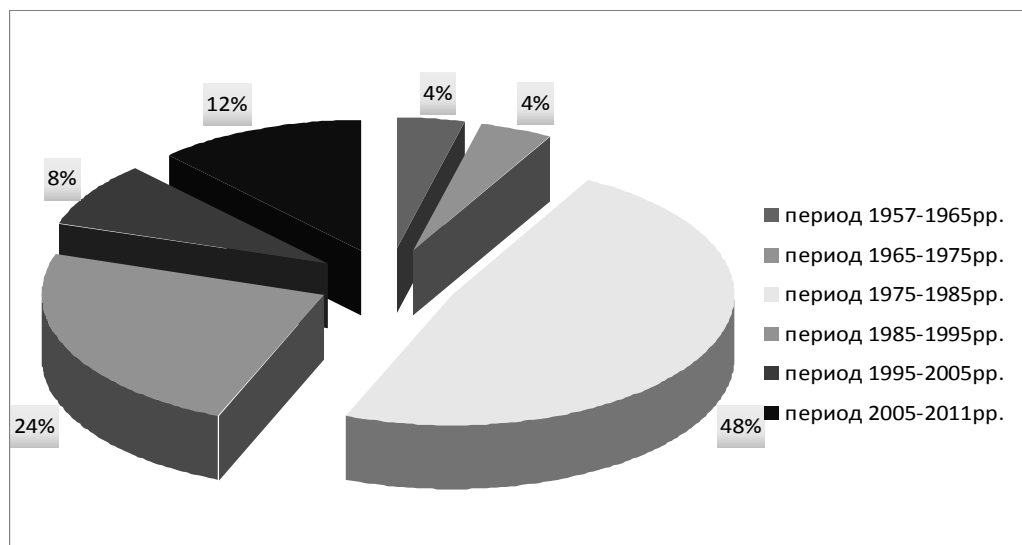


Рисунок 1.10 – Результати патентного аналізу: діаграма активності досліджень

Відмічено, що основним напрямом в удосконаленні роботи

хемоіонізаційних датчиків полум'я, є підвищення їх надійності, що пов'язано з екстремальними умовами експлуатації чутливих елементів безпосередньо в зоні горіння (рис.1.11)

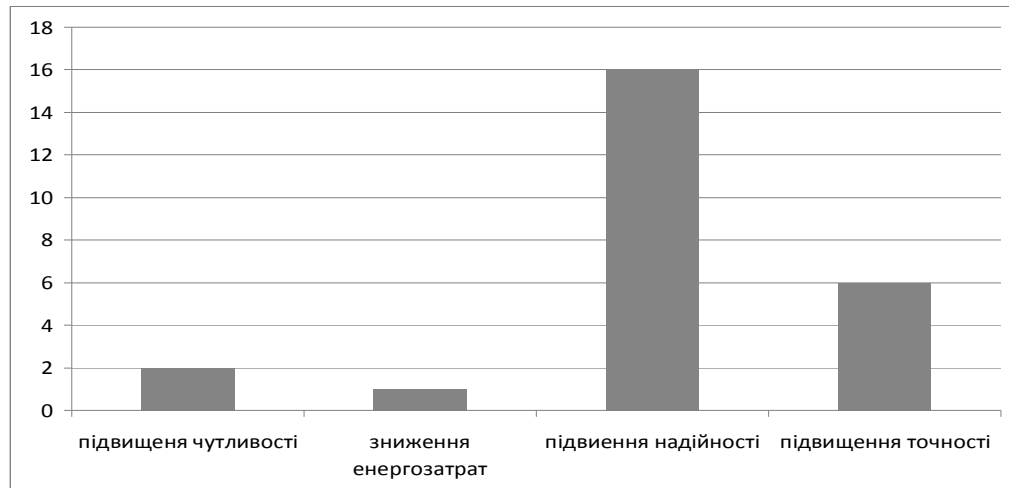


Рисунок 1.11 – Результати патентного аналізу: діаграма залежності від виду удосконалення

Визначено, що найбільш часто датчики застосовуються в промисловості, що пов'язано з інтенсифікацією виробництва. На даному етапі застосування датчиків іонізації поширюється на побутову зону, використання у газових котлах, та використання у двигунах внутрішнього згорання (рис.1.12).

Визначено, що однофункціональних датчиків більше ніж багатофункціональних. Це пов'язано з тим, що вони мають просту конструкцію і використовуються у більшості випадків, як сигналізатори зриву полум'я у технологічному обладнанні. З метою покращення технічних характеристик датчиків та збільшення коефіцієнту корисної дії установок та агрегатів, на яких вони функціонують, треба акцентувати увагу на збільшенні функціональності датчиків.

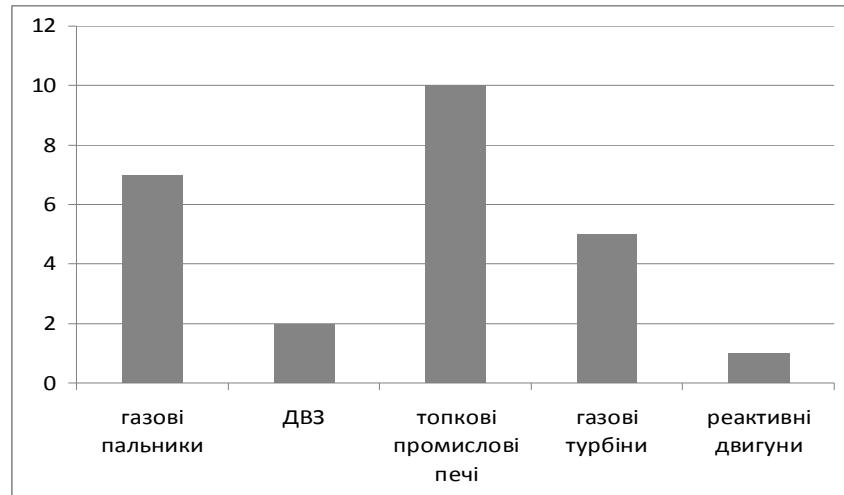


Рисунок 1.12 – Результати патентного аналізу: залежності від області використання

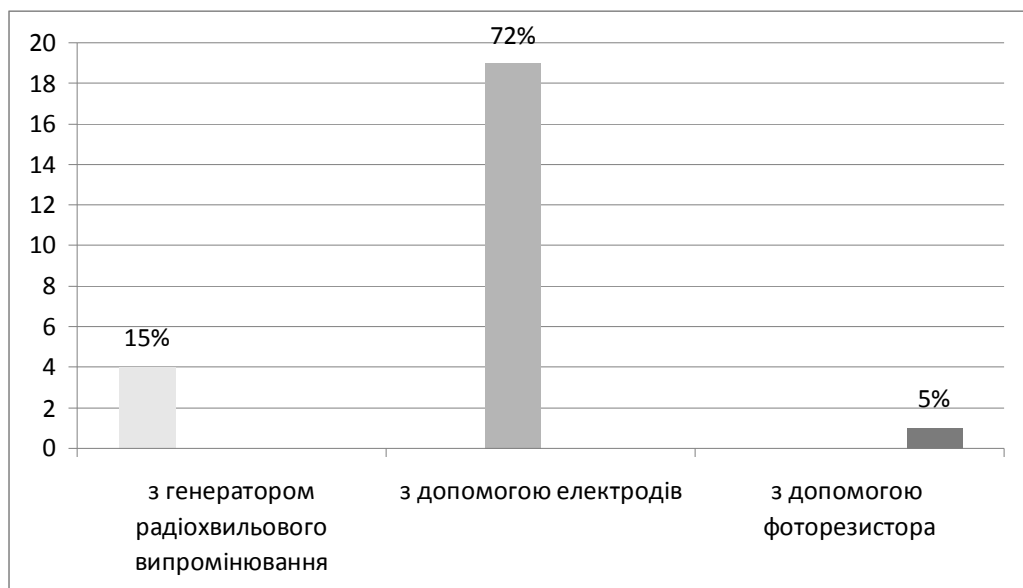


Рисунок 1.13 – Залежність від виду чутливого елемента.

Встановлено, що чутливий елемент у 72% випадків (рис. 1.13) розміщується в зоні горіння (у фронті полум'я); це пов'язано з тим, що ступінь іонізації газу в цій зоні максимальний, і за рахунок електронної провідності та різниці потенціалів на кінцях електродів створюється максимальне значення струму іонізації. Недоліком даного способу є низька надійність, так як електроди

розташовані в агресивній зоні високих температур. Для підвищення надійності слід звернути увагу на дослідження способу виявлення полум'я з допомогою генераторів високочастотного радіохвильового випромінювання.

1.4 Аналіз принципів побудови та роботи пристроїв, що використовують ефект хемоіонізації в галузі пожежної безпеки

У даному підрозділі описуються пристрої, що дозволяють виявляти відкрите полум'я, які використовують ефект хемоіонізації, і можуть бути використані для рішення питань пожежної безпеки об'єктів.

Перший пристрій [8] містить транспоновані між собою електроди, один з яких оголений, а другий ізольований, підключення до входів підсилювача з диференціальним входом, вихід якого через пороговий елемент підключено до сигналізатора і виконавчого механізму системи пожежогасіння. Цей пристрій використовує явище виникнення різниці потенціалів на входному опорі підсилювача, підключеному до контактуючого з зарядженими частинками електроду. Генерація заряджених частинок внаслідок хемоіонізації є одним з первинних ланок механізмів займання і горіння. Винахід відноситься до пожежної техніки і може використовуватися в різних галузях народного господарства для попередження виникнення пожеж і вибухів, сигналізації про їх виникнення та автоматичного придушення, переважно у важкоконтрольованих об'єктах типу кабельних та інших тунелів, вентиляційних шахт, трубопроводів, трюмів судів тощо.

На рис.1.14 показана функціональна схема сигналізатора. Пристрій містить транспонований між собою електроди 1 і 2, один з яких оголений, а інший ізольований, підсилювач 3 з диференціальним входом, пороговий елемент 4, сигналізатор 5 і виконавчий механізм 6 системи пожежогасіння.

Транспортовані електроди 1 і 2 розміщуються відповідно до обраної схеми в охороняємому об'єкті, для чого до його стін, стелі або іншим місцям кріпляться ізолятори 7, до яких підвішуються звиті між собою електроди 1 і 2.

При відсутності займання або полум'я можлива електромагнітна перешкода, сприймається електродами і взаємно компенсується на диференціальному вході підсилювача 3. При цьому поріг спрацювання (чутливість) підсилювача встановлюється на рівні, що перевищує величину некомпенсованої перешкоди і меншому величини корисного сигналу. При розвиненому займанні, тим більше при виникненні відкритого полум'я, на неізольованому електроді за рахунок взаємодії з зарядженими частинками, виникаючими при окисленні і горінні, накопичується заряд, стікання якого через вхідний опір підсилювача 3 обумовлює виникнення на ньому різниці потенціалів і відповідно струму, величина якого перевищує поріг спрацювання порогового елемента 4 і включає, тим самим, сигналізацію 5 і виконавчий механізм 6 систем пожежогасіння.

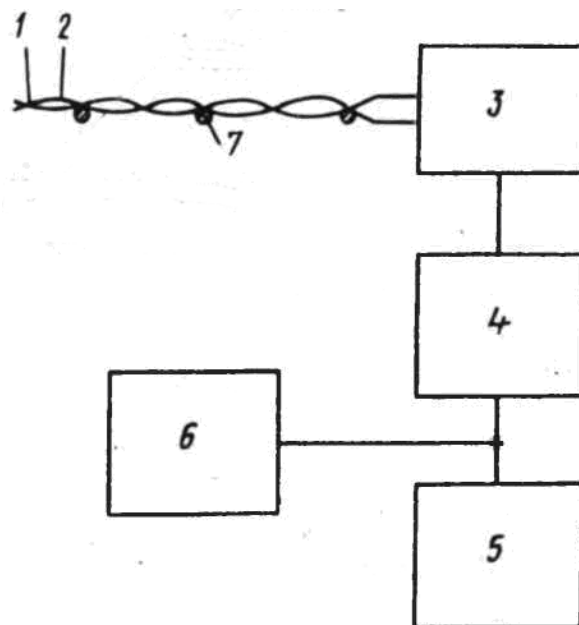


Рисунок 1.14 – Сигналізатор наявності полум'я .

Другим пристроєм для дослідження різниці потенціалів, утвореної зарядженими частинками полум'я, був запропонований в [9] лінійний сповіщувач полум'я (ЛСП) з використанням ефекту хемоіонізації.

Структурна схема сповіщувача представлена на (рис. 1.15), де: ЧЕ - чутливий елемент, ОУ - операційний підсилювач, БРКУ - блок регулювання коефіцієнта підсилення, ИОН 1 - джерело опорної напруги АЦП, АЦП - аналогово-цифровий перетворювач, А. Комп - аналоговий компаратор, ИОН 2 - джерело опорної напруги аналогового компаратора, МП - мікропроцесор, МК - мікроконтролер, USART - послідовний приймально-передавач, БП - блок живлення.

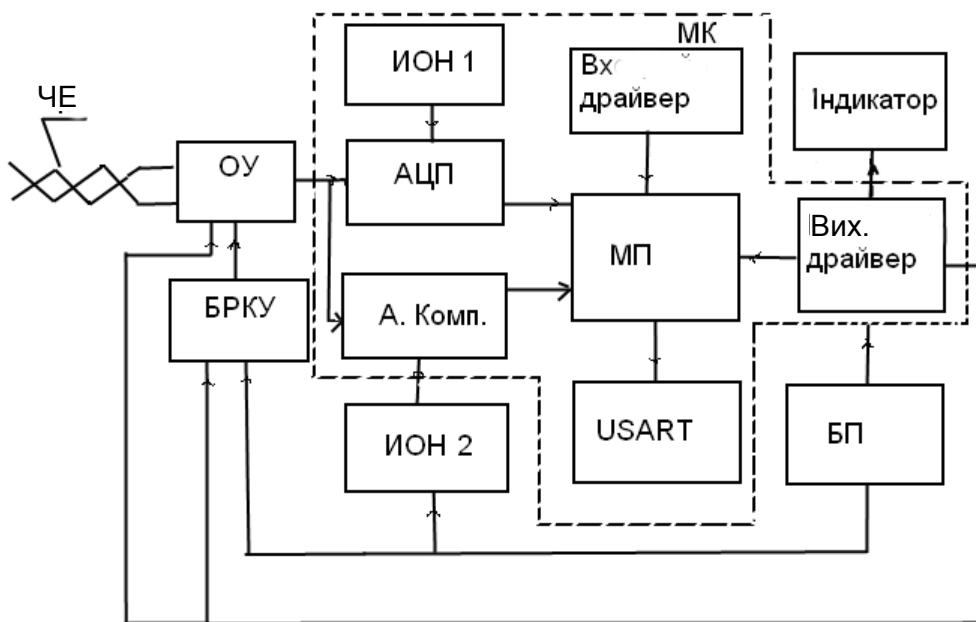


Рисунок 1.15 – Структурна схема лінійного сповіщувача з використанням ефекту хемоіонізації

Чутливий елемент сповіщувача виконаний у вигляді двох дротів діаметром 1 мм звитих між собою: перший дріт в ізоляції марки ПЕЛ, другий - мідний дріт, з лудіння припоєм ПОСр 3,5.

Таке виконання чутливого елемента обумовлено:

- зниженням індукованих електромагнітних завад - шляхом заземлення ізолюваного проводу, синфазний шум, який наводиться в обох проводах, пригнічується диференціальним входом підсилювача;
- малим питомим електричним опором мідних провідників;
- підвищенням стійкості до окислення шляхом лудіння неізолюваного провідника.
- операційний підсилювач, виконаний на мікросхемі LM358.
- блок регулювання коефіцієнта посилення призначений для зміни коефіцієнта посилення в залежності від вихідного сигналу, являє собою аналоговий мультиплексор / демультимплексор HCF4051.
- блок керування виконаний на програмованому AVR мікроконтролері сімейства ATmega. До його складу входять:
 - аналогово-цифровий перетворювач, який приймає аналоговий сигнал від операційного підсилювача і перетворює в десятирозрядний бінарний код, який передається мікропроцесору;
 - джерело опорної напруги 1 - джерело стабілізованого постійної напруги, входить до складу мікроконтролера і є опорним напругою АЦП;
 - аналоговий компаратор призначений для захисту входу АЦП від високої вхідної напруги. При появі на вході компаратора напруги вище опорного напруги, що надходить від ИОН 2 формується переривання і встановлюється мінімальний коефіцієнт посилення; джерело опорної напруги 2 – формує стабілізовану напругу для аналогового компаратора $\text{ИОН } 2 \approx 0,75 \cdot \text{ИОН } 1$;
 - вхідний драйвер призначений для прийому керуючих сигналів;
 - вихідний драйвер призначений для видачі керуючих сигналів на БРКУ та управління індикатором;
 - USART - універсальний послідовний приймально-передавач, призначений для зв'язку сповіщувача з ПК;

- мікропроцесор - призначений для прийому вхідних значень і сигналів і видачі керуючих сигналів у відповідності з програмою, написаної мовою асемблер.
- індикатор призначений для виведення отриманих значень в зручному для користувача вигляді.
- блок живлення призначений для видачі постійного стабілізованої напруги на всі елементи схеми.

Оскільки на значній відстані від полум'я характеристики корисного сигналу невідомі, їх визначено експериментально, а також встановлено оптимальні параметри чутливого елемента.

Вимірювання залежності наведеної різниці потенціалів від діаметра провідників і висоти над полум'ям проводилися з мідними провідниками марки М0 діаметр яких становив 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 і 1,2 мм.

Аналіз отриманих значень (рис.1.16) показав оптимальним є ЧЕ, виконаний з провідників діаметром 0,4 мм так як провідник меншого діаметру різко знижує чутливість, а ЧЕ виконані з провідників більшого діаметру при незначному збільшенні чутливості значно зростає маса матеріалу провідника на одиницю довжини.

Також встановлено [10], що створювана різниця потенціалів в ЧЕ практично не залежить від матеріалу провідників (рис. 1.16). В експериментах використовувалися алюмінієві провідники діаметром 0,8 мм звиті між собою, мідний діаметром 0,8 мм, зі сталі низьковуглецевої оцинкованої діаметром 0,8 мм і ЧЕ, виконаний з міді марки ПММ прямокутного перерізу 7x1 мм, провідник не свити між собою і знаходяться паралельно. У разі прямокутних жил спостерігається трохи більше значення ніж у випадку з іншими провідниками - це пов'язано з тим, що прямокутний 7x1мм провідник має велику площу поверхні, ніж інші провідники діаметром 0,8 мм.

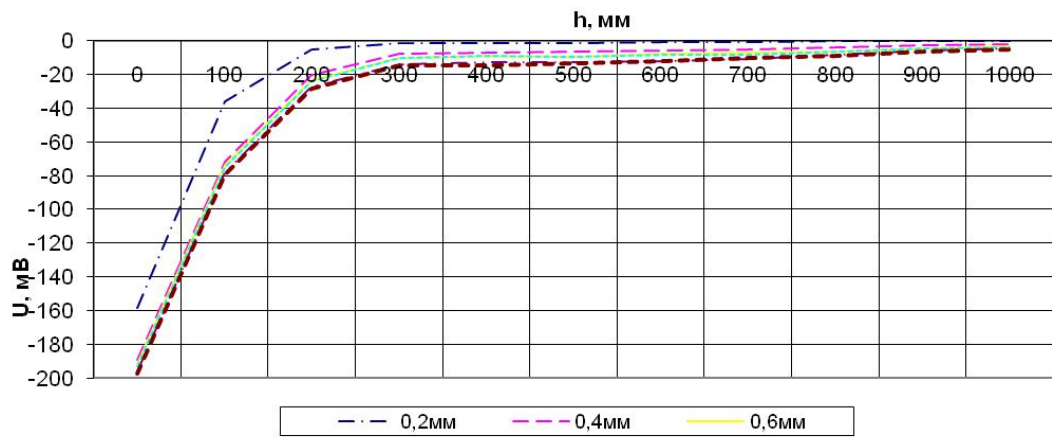


Рисунок 1.16 – Залежність наведеної різниці потенціалів зарядженими частинками полум'я від висоти установки ЧЕ над полум'ям і від діаметра провідників ЧЕ.

Таким чином виявлено, що спроектований лінійний пожежний сповіщувач має ряд недоліків, які потребують доопрацювання:

- інерційність лінійного сповіщувача, яка збільшується пропорційно збільшенню довжини чутливого елемента, затухання корисного сигналу відбувається на відстані від 5 метрів.
- низька чутливість, обумовлена тим що концентрація іонів над полум'ям здатна створити струм іонізації вищий за граничний на відстані не більше 1 м над фронтом полум'я.

2 МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В ЛІНІЙНОМУ СПОВІЩУВАЧІ ПОЛУМ'Я З ВИКОРИСТАННЯМ ЕФЕКТУ ХЕМОІОНІЗАЦІЇ

2.1 Дослідження механізму утворення заряджених часток при полум'яному горінні

Теплова теорія горіння і теорія ланцюгових хімічних реакцій, створені в 20-50-ті роки, відповідно працями Я.Б. Зельдовича, Д.А. Франк-Каменецького [11], в основному добре описують властивості полум'я, але слабо пов'язані один з одним і не враховують низки чинників, здатних багато в чому визначати перебіг процесу горіння. До числа таких факторів можна віднести електричні властивості полум'я, які, як показало їх експериментальне вивчення, можуть ефективно використовувати для контролю і управління процесом горіння. [12]

Той факт, що полум'я має електричними властивостями, відомий дуже давно. Однак, тільки в ХХ столітті, коли була в основному сформульована молекулярно-кінетична теорія речовини, стало ясно, що електричні властивості полум'я обумовлені існуванням в них заряджених частинок - іонів і електронів. Спочатку припускали, що іонізація полум'я має термічну природу, тобто стимульована порівняно високими температурами, розвиваючими при горінні.

Проте, ще в 1909 р Ф. Габер припустив, що іони в полум'ї утворюються в результаті хімічної іонізації в реакції за участю радикалів C_2 , CH , OH . Вимірювання концентрації іонів в полум'ї різних вуглеводневих палив, проведених в 50-і роки, показали, що в залежності від умов горіння і виду палива воно складає 10^{10} - 10^{12} $см^{-3}$, тобто на 4-6 порядків перевищує концентрацію, яка повинна була б спостерігатися при чисто термічному механізмі іонізації.

Передбачалося також, що основним джерелом іонів можуть бути дрібні вуглецеві частинки, що володіють приблизно такою же роботою виходу, як і графіт (4,35 кВ). Але це малоймовірно з трьох причин. По-перше, навіть найбільш іонізуючі види полум'я характеризуються високим ступенем іонізації. По-друге, в дифузійних видах полум'я максимальна концентрація заряду виявлена в

порівняно холодній зоні попереднього змішення, а не в гарячій вершині конуса, де відбувається сажеутворення. Нарешті, Калькот розрахував [13], що навіть якби весь вуглець в пальному перебував у вигляді частинок розміром 100 \AA , то результуюча концентрація іонів все ще була б на два порядки нижче спостережуваної.

В роботі [14], а також дослідях Семенова [15] було виявлено, що у вузькій зоні полум'я газів, що не містять солей лужних металів, концентрація іонізованих частинок досягає дуже великих значень: близько 10^{10} см^{-3}

В роботі [16] (рис 2.1.) Встановлено розподіл концентрації електронів у фронті полум'я 4,16% суміші пропан - повітря зондом діаметром 0,2 мм.

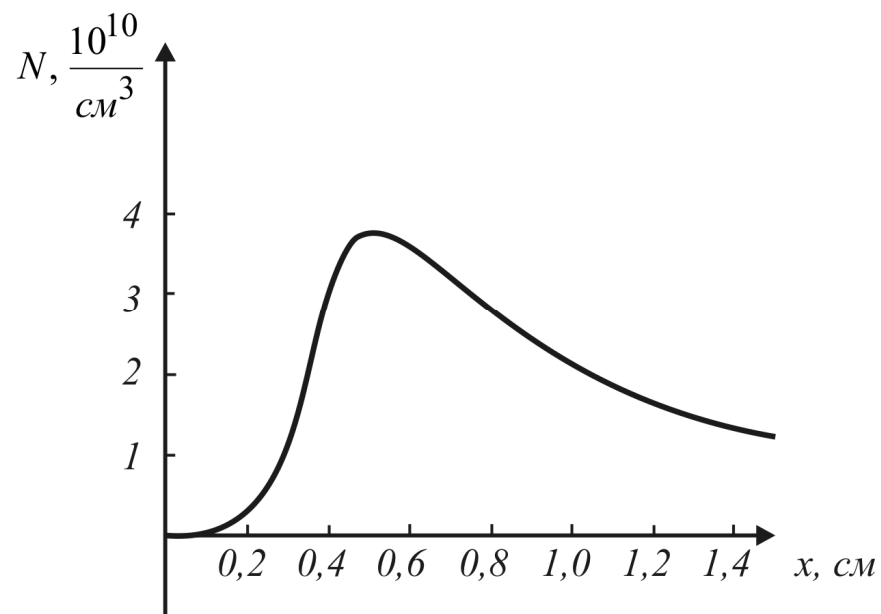


Рисунок 2.1 – Розподіл заряджених часток у фронті полум'я пропан-повітряної суміші 4,16%

Також проводилось дослідження утворення заряджених частинок в полум'ї водню [17]. Дослідження проводилося зондовим методом в замкнутому просторі, в якому містилася водне-повітряна суміш. Отримано залежність напруги, наведеної на зонд, від концентрації горючої суміші (рис.2.2).

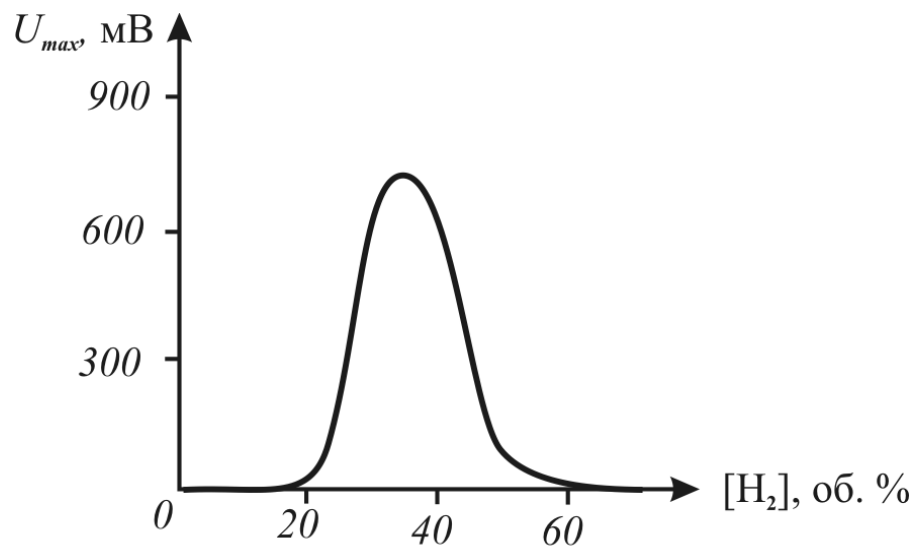


Рисунок 2.2 – Залежність наведеної напруги зарядженими частками від початкового складу водню у водне-повітряній суміші

Дослідження хемоіонізації проводилося в роботах [18], в яких за допомогою зонда досліджувався іоноутворення в полум'ї різних речовин, початкових умов і механізмів горіння. Дослідження концентрацій заряджених частинок на відстані більш ніж 2 см від заряджених частинок не проводилося.

Можна вважати встановленим фактом, що максимум іонізації відповідає фронту полум'я, де протікають хімічні процеси, причому концентрація заряджених частинок різко падає по виході в зону продуктів згорання, хоча в цій зоні і спостерігається максимальна температура. Співвідношення концентрації іонів в цих зонах оцінюють як 1000:1.

В огляді Х.Калькота [13], що вийшов в 1962 р, розглянуті різні можливі механізми іоноутворення в полум'ї і доведено, що саме механізм хемііонізації відповідальний за аномально високу концентрацію іонів в полум'я. У процесах такого роду частинки зазнають хімічного перегрупування, при якій звільняється кількість енергії, достатня для іонізації одного з продуктів реакції. Передбачається, що у разі полум'яного горіння такий процес йде як побічна реакція між частинками, що беруть участь в основній реакції горіння. Є досить велика кількість можливих з енергетичної точки зору реакцій, в яких беруть

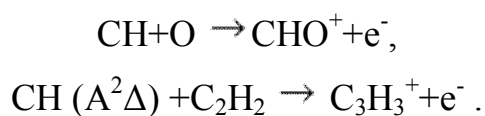
участь дві частинки в основному стані або одна в основному, а інша - у збудженому стані. Тому передбачається, що хемоіонізація, незалежно від того, супроводжується вона утворенням збуджених часток чи ні, є найбільш вірогідним джерелом іонізації полум'я.

Після опублікування огляду Калькотом, іншими дослідниками був пророблений цілий ряд експериментальних робіт, результати яких підтвердили важливе значення хемоіонізації. Енгель і Козенс вважали, що при зіткненні з коливально-збудженими частинками електрони вільно можуть отримати додаткову енергію. Було розраховано, що в результаті балансу між енергією, отриманої від збуджених часток, і енергій, втрачених при пружних зіткненнях, середні енергії електронів в полум'ї можуть лежати в інтервалі 0,2 - 1,2 eV (+2320 - 11600 K).

Багато експериментів з електростатичними зондами показують, що в деяких видах полум'я існують підвищені електронні температури. Так, наприклад, в недавній роботі Бредлі і Меттьюс, в якій використовувалися подвійні зонди при знижених тисках, були виявлені температури до 30000 K. У зв'язку з тим, що електрони, що володіють енергією, трохи перевищує потенціал іонізації можуть легко іонізувати атоми і молекули, Енгель і Козенс припустили, що ці електрони є джерелом іонізації в полум'ях, де виявлені підвищені електронні температури. Дійсно, немає сумнівів у тому, що електрони при температурах порядку 30000 K викличуть іонізацію з великими швидкостями. Недавня робота, в якій досліджувалася іонізація в полум'ї сумішей окису вуглецю і кисню з добавками вуглеводнів, показала, що в цих видах полум'я відбувається не тільки хемоіонізація, але й утворює значну кількість іонів O_2^+ , які можуть виникати у присутності електронів при підвищених температурах. Передбачається, що останні з'являються в результаті взаємодії з збудженими молекулами CO_2 , які в свою чергу утворюють при рекомбінації молекул окису вуглецю з атомарним киснем.

Проте підвищені електронні температури були виявлені не у всіх видах полум'я з підвищеним ступенем іонізації. Більш того, при зміні швидкості іоноутворення були отримані плоскі плато, відповідні струму насичення, при атмосферному тиску в широкому інтервалі прикладених напруг. При цьому напруженість поля в зоні горіння мала порядок кВ/см і, таким чином, була достатня для значного підвищення електронної температури. Це приводить до висновку, що в різних видах полум'я можуть відігравати важливу роль різні механізми іоноутворення. З'ясування ролі електронів підвищеної енергії як одного з можливих джерел іонізації потрібно подальшого вивчення.

В даний час [19] експериментальні дані показують, що найбільш імовірним механізмом є хемоіонізація, причому передбачається, що можуть протікати тільки екзотермічні або слабо ендотермічні реакції. Були запропоновані два механізми, сприятливі з термодинамічної точки зору:



Зацікавленість до електрофізичних аспектів горіння почала швидко зростати з кінця 50-х років, коли стало зрозуміло, що традиційні методи контролю і управління процесом горіння значною мірою вичерпали себе. Нова експериментальна база дозволила порівняно швидко отримати ряд даних, що проливають світло на процеси іоноутворення в полум'ї, однак, питання про роль заряджених частинок в процесі горіння залишається поки відкритим.

Експериментально встановлено, що в полум'ї існує поділ зарядів, причому позитивний об'ємний заряд зосереджений в реакційній зоні (у фронті полум'я), а негативний — в зоні, яку надалі будемо називати областю підготовки. Передбачається, що розділення зарядів обумовлено амбіполярою дифузії. Носіями негативного заряду в полум'ї є електрони і негативні іони.



Рисунок 2.3 – Іонна структура полум'я .

2.2 Фізична модель активного сповіщувача полум'я в стандартних режимах роботи

При проходженні по двожильному симетричному провіднику струму навколо нього виникають магнітні H та електричні E поля між провідниками (рис. 2.4.) [20]. В роботі [21] описано взаємний вплив магнітного поля і заряджених частинок.

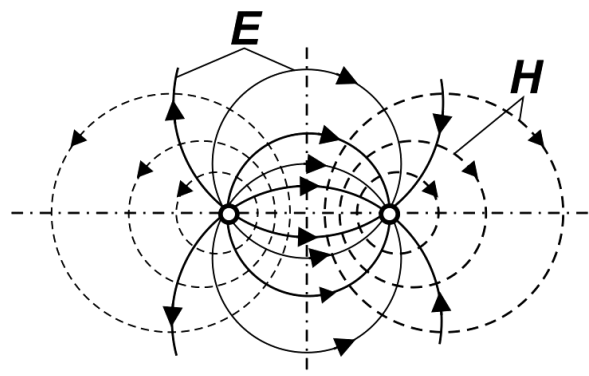


Рисунок 2.4 – Лінії електричного і магнітного поля навколо двохжильного дроту

Зниження інерційності ЛСП можливо шляхом активного зондування симетричної двухпровідної лінії короткими імпульсами із заданими параметрами і подальшим дослідженням імпульсу відбиття від неоднорідності, викликаній появою заряджених частинок над осередком пожежі. Лінія повинна мати приблизно рівний хвильовий опір по всій довжині і бути узгоджена по хвильовому опору на її кінцях.

Короткий імпульс [22] проходячи по узгодженій лінії з рівним хвильовим опором загасає на кінці через узгоджувальний опір R_c (рис.2.5). Даний ефект дійсний коли довжина лінії перевищує довжину хвилі. Двожилна однорідна кабельна лінія, еквівалентна електрична схема якої наведена на (рис. 2.6), визначається первинними електричними параметрами: погонними значеннями активного опору R , індуктивності L , ємності C і провідності G на одиницю довжини лінії. На вхід лінії підключається джерело сигналів з вихідним опором Z_0 , на вихід лінії - приймач сигналів з вхідним опором Z_n (узгоджувальний опір).

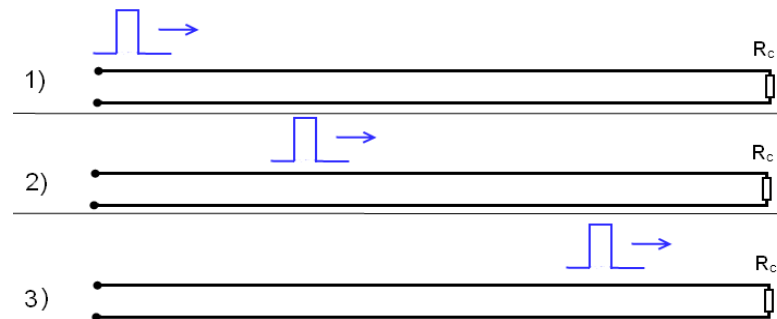


Рисунок 2.5 – Проходження імпульсу по однорідній узгодженій лінії з загасанням на узгоджувальному опорі

По своїй фізичній природі первинні електричні параметри кабелю аналогічні параметрам коливальних контурів, але на відміну від них вони не є зосередженими, а розподілені по всій довжині кабелю. Цим пояснюється певна залежність первинних параметрів кабелю від частоти сигналу і від конструкції

кабелю. Утворені в результаті горіння заряджені частинки, вода, вуглекислий газ та інші елементи продуктів горіння локально впливають на хвильовий опір кабелю. Це призводить до появи відбиття при подачі по кабелю зондуючого імпульсу (рис.2.7). Враховуючи те, що імпульс має кінцеву швидкість поширення по лінії, існує можливість визначити відстань від початку кабельної лінії до місця виникнення пожежі. Також з'являється можливість діагностувати пошкодження чутливого елемента, такі як обрив, частковий обрив, пошкодження ізоляції, замикання і часткове замикання і визначення відстані до ушкодження.

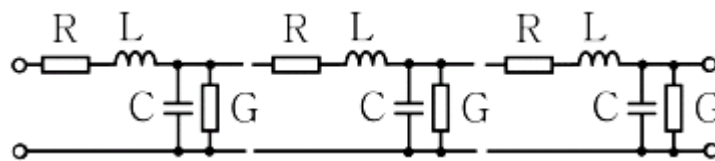


Рисунок 2.6 – Елементарні складові двожильного провідника

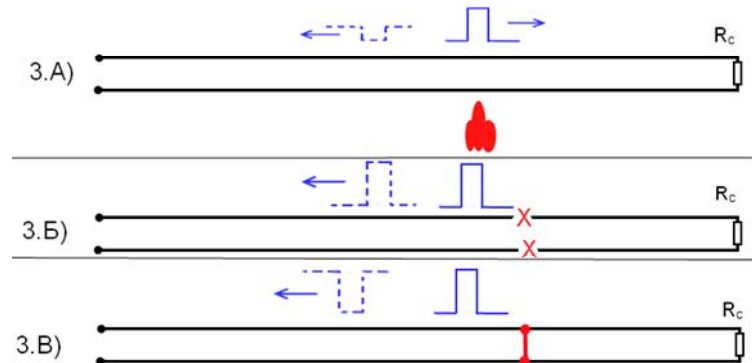


Рисунок 2.7 – Проходження зондувального імпульсу по лінії, що має неоднорідності

2.3 Математична модель активного сповіщувача полум'я динамічному режимі

Перехідний процес ланцюга подібний перехідному процесу на її елементарній ділянці [23] і являє собою перехідний процес RLC ланцюга (рис.2.8.).

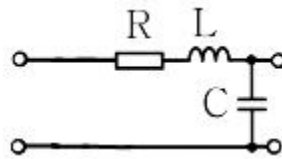


Рисунок 2.8 – Електрична схема для розрахунку перехідного процесу RLC ланцюга

Використовуючи другий закон Кірхгофа:

$$\sum_i U_i = \sum_j \varepsilon_j,$$

а також з урахування:

$$U_R = rI_r;$$

$$U_C = U_{C(0)} + \frac{1}{C} \int_0^1 I_C dt;$$

$$U_L = L \frac{dI_L}{dt},$$

запишемо інтегро-диференціальне рівняння:

$$rI + \frac{1}{C} \int Idt = \varepsilon_0 - L \frac{dI}{dt}, \quad (2.1)$$

де r – активний опір, ε_0 – ЕРС джерело живлення, i і j – номер джерела ЕРС і ділянки падіння напруги в ланцюгу.

У якості незалежної змінної в рівнянні (2.1) візьмемо напругу U_C на конденсаторі:

$$U_C = \frac{1}{C} \int I dt,$$

тобто величину, яку треба визначити за умовами завдання. Так як, елементи з'єднані послідовно то

$$I = \frac{dQ}{dt} = C \frac{dU_C}{dt},$$

тоді рівняння (2.1) можна записати у вигляді лінійного диференційного рівняння другого порядку:

$$LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} + rC \frac{dU_C}{dt} + U_C = \varepsilon_0. \quad (2.2)$$

Виконаємо ідентифікацію рівняння (2.2) використовуючи методи теорії автоматичного управління. Представимо рівняння в стандартній формі:

$$T_2^2 \frac{d^2 U_{Вых}}{dt^2} + T_1 \frac{dU_{Вых}}{dt} + U_{Вых} = \varepsilon_{Вх}, \quad (2.3)$$

де T_1 та T_2 – постійні часу, $T_1 = RC$; $T_2 = \sqrt{LC}$.

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_2^2 p^2 + T_1 p + 1 = 0$$

Корні характеристичного рівняння визначаються виразом

$$p_{1,2} = -\frac{T_1}{2T_2^2} \pm \frac{1}{2T_2^2} \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2} \quad (2.4)$$

Знайдемо значення виразу під квадратним коренем в формулі (2.4):

$$\begin{aligned} T_1^2 - 4T_2^2 &= (RC)^2 - 4(\sqrt{LC})^2 = (0,148 \cdot 0,04 \cdot 10^{-9})^2 - 4(\sqrt{1,7 \cdot 10^{-6} \cdot 0,04 \cdot 10^{-9}})^2 = \\ &= -271,986 \cdot 10^{-18} < 0 \end{aligned}$$

Очевидно, що в коренях (2.4) буде присутня комплексна частина, а значить рівняння (2.3) описує коливальну ланку.

Якщо ввести позначення $\omega^2 = \frac{1}{LC}$, $\beta = \frac{r}{2L}$ приведемо рівняння (2.2) до виду:

$$\frac{d^2 U_C}{dt^2} + 2\beta \frac{dU_C}{dt} + \omega_0^2 (U_C - \varepsilon_0) = 0. \quad (2.5)$$

Стаціонарне значення напруги на конденсаторі знайдемо, поклавши рівними нулю всі похідні в рівнянні (2.5), звідки випливає:

$$U_{C\infty} = \varepsilon_0.$$

Так як в ланцюзі реалізуються затухаючі коливання, рішення рівняння (2.5) буде мати вигляд:

$$U_C(t) = U_{C\infty} + e^{-\beta t} (a \cos \omega t + b \sin \omega t),$$

де $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$, a і b константи і визначаються з умов:

$$U_c(0) = U_{c\infty} + a = 0; \quad (2.6)$$

$$\frac{dU_{c\infty}}{dt} = -\beta a + \omega b = 0. \quad (2.7)$$

З урахуванням виразів (2.6), (2.7) отримуємо:

$$a = -U_{c\infty} = -\varepsilon_0;$$

$$b = \frac{\beta a}{\omega} = \frac{\beta}{\omega} \varepsilon_0.$$

У результаті зміна напруги на конденсаторі описується виразом:

$$U_c(t) = \varepsilon_0 (1 - e^{-\beta t} (\cos \omega \cdot t + \frac{\beta}{\omega} \sin \omega \cdot t)). \quad (2.8)$$

Що дозволяє визначити тривалість перехідного процесу в ЧЕ ЛСП. Для чутливого елемента, виконаного з дроту марки ТРП 2x0,4 при питомих:

$$r = 0,2 \text{ Ом/м},$$

$$L = 1,7 \text{ мкГн/м},$$

$$C = 0,04 \text{ нФ/м},$$

Розрахуємо напругу на конденсаторі:

$$U_c(85 \cdot 10^{-6}) = 5 \cdot (1 - e^{-5,9 \cdot 10^{-4} \cdot 85 \cdot 10^{-6}} (\cos 1,21 \cdot 10^5 \cdot 85 \cdot 10^{-6} + \frac{5,9 \cdot 10^{-4}}{1,21 \cdot 10^5} \cdot \sin 1,21 \cdot 10^5 \cdot 85 \cdot 10^{-6})) = 4,999999996$$

Використовуючі графо-аналітичний метод (рис. 2.9) визначена тривалість перехідного процесу, яка складає 85 мкс. Це дозволяє нехтувати перехідним процесом при відбитті зондувального імпульсу від місця неоднорідності в чутливому елементі та розглядати цей процес як стаціонарний.

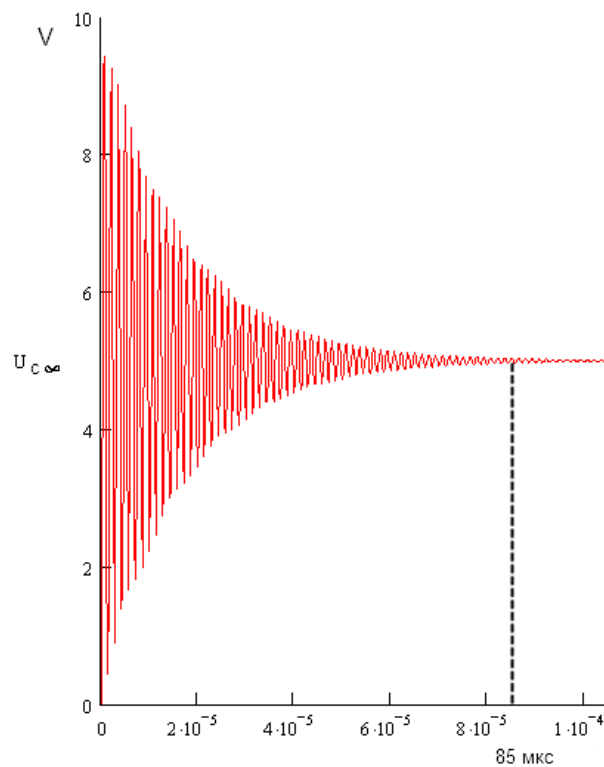


Рисунок 2.9 – Перехідний процес активного чутливого елемента, виконаного з дроту марки ТРП 2x0,4

2.4 Статичні характеристики активного сповіщувача полум'я

При проходженні імпульсу по однорідній лінії віддзеркалень від лінії не виникає. Відображення імпульсу виникає в місцях локального зміни середовища навколо лінії, викликаних появою іонів в результаті чого на ділянках лінії змінюються абсолютні величини її елементарних складових.

Напряга відображеного імпульсу розраховується за формулою:

$$U_{отр} = KU_{C\infty},$$

де $U_{отр}$ – напряга відображення, K – коефіцієнт відбиття.

Коефіцієнт відображення розраховується за формулою:

$$K = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0},$$

де Z_0 – хвильовий опір чутливого елемента, Z – хвильовий опір чутливого елемента в точці неоднорідності.

Теоретично встановлені значення коефіцієнтів відбиття для різних подій і станів чутливого елемента:

$K \approx 0$	–	стан «норма»;
$-0,15 < K < 0$	–	стан «пожежа»;
$K \leq -1$	–	стан «коротке замкнення»;
$K \leq 1$	–	стан «обрив».

Оскільки використовується імпульс тривалістю менше 30 нс, для розрахунку хвильового опору справедлива формула:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Зондувальний імпульс має обмежену швидкість руху по провіднику, тому з'являється можливість визначити відстань до вогнища пожежі.

$$l = \frac{\tau V}{2},$$

де l – відстань до неоднорідності, τ – час повернення відображення, V – швидкість розповсюдження імпульсу по лінії.

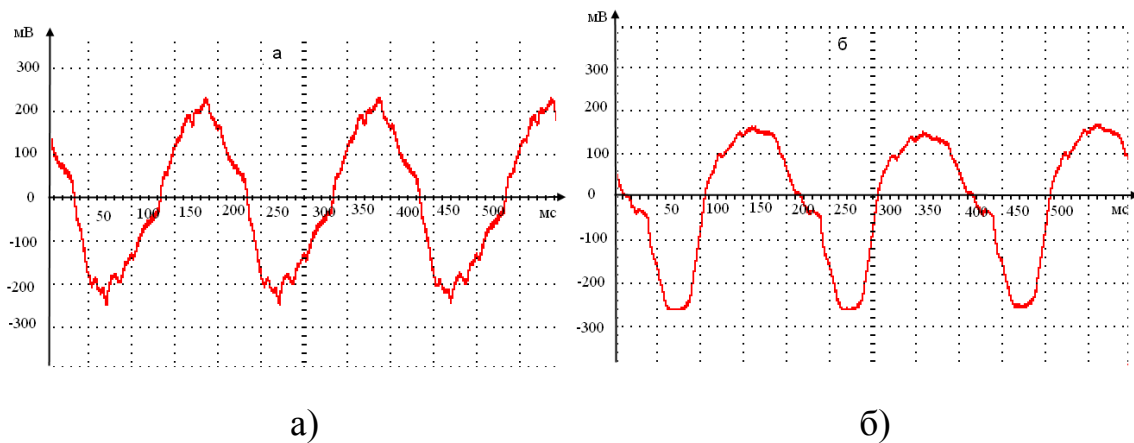


Рисунок 2.10 – Осцилограма чутливого елемента:

а) стан «норма»; б) в стані «пожежа» на висоті ЧЕ 50 см над полум'ям

Встановлено, що на чутливий елемент сповіщувача полум'я в пасивному режимі, значний вплив мають електромагнітні наведення (шуми), значення яких може перевищувати корисний сигнал кілька порядків, амплітуда шуму 450 мВ. Дослідження впливу електромагнітних наведень на активний чутливий елемент не проводилося.

У довгих лініях, окремим випадком якої є активний лінійний чутливий елемент при русі зондувального імпульсу відбувається його затухання [24]. Також відбувається загасання відбитого сигналу від неоднорідності, викликані наявністю заряджених частинок над осередком пожежі та пошкодженнями чутливого елемента. В результаті чого відбувається помилкове визначення коефіцієнта відбиття, як наслідок - помилка у визначенні станів чутливого елемента.

Завдання дослідження полягає у вимірюванні та обліку значущих чинників, якими є коефіцієнт загасання і рівень шумів на результати експерименту. Виміри рівня шумів проводилося на узгодженому з обох кінців по хвильовому опорі ЧЕ, що був підключений до осцилографа UTD2102. Режим вимірювання осцилографа по амплітуді - 20 мВ/дел, за часом - 50 мс/дел. Початок і кінець чутливого елемента узгодженого по хвильовому опорі за допомогою активного опору

2700 Ом. Так як наводимі шуми мають малу потужність, вони в більшості проходять через узгоджувач опір. Амплітуда шуму не перевищує 20 мВ (рис. 2.11).

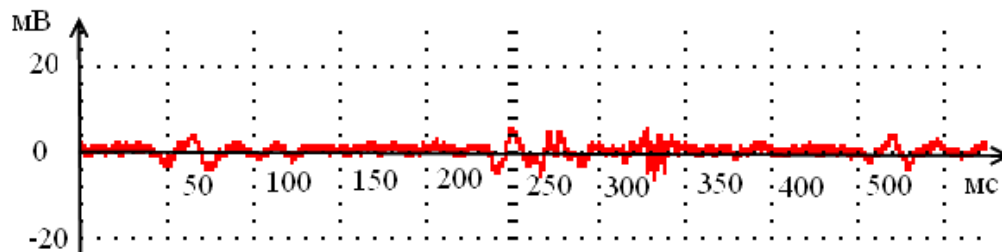


Рисунок 2.11 – Амплітуда шуму, наведеного на чутливий елемент лінійного сповіщувача полум'я в спокійному стані

Оскільки в довідковій літературі точне значення коефіцієнта загасання для дроту марки ТРП 2x0,4 не наводиться, визначимо його експериментально. Разом з ним визначимо затримку поширення сигналу в лінії. Для цього використана установка (рис. 2.12). Для вимірювання використовувалися 100 м ЧЕ. Один кінець ЧЕ з'єднується з формувачем імпульсів і першим входом першого променя осцилографа, другий зі входом другого променя осцилографа. Осцилограф встановлений в режим вимірювання по амплітуді - 1 В / дел, тимчасова розгортка - 500 нс / дел, що чекає по фронту імпульсу. В результаті експерименту отримана осцилограма (рис. 2.13), за якою, вимірюючи час між фронтами імпульсів і їх амплітуду, можна визначити коефіцієнт загасання і час затримки сигналу в лінії.

Встановлено (рис. 2.13), що затримка поширення сигналу на чутливому елементі довжиною 100 м становить 500 нс, з цього випливає, що затримка поширення сигналу по дроту марки ТРП 2x0,4 становить 5 нс / м.

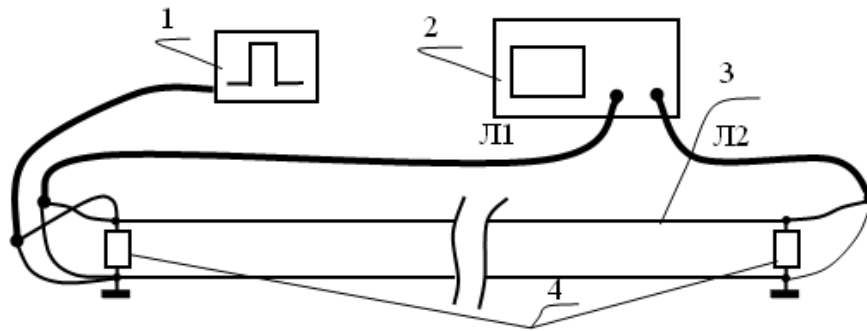


Рисунок 2.12 – Схема установки для визначення затримки поширення імпульсу і коефіцієнта загасання чутливого елемента: 1 - генератор прямокутних імпульсів; 2 - двопробеневий осцилограф UTD2102; 3 - ЧЕ; 4 – узгоджувальний опір

Коефіцієнт загасання розраховується за формулою:

$$K_{зам} = 10 \lg \frac{U_{Вых}}{U_{Вх}}, \quad (2.9)$$

де $U_{Вых}$, $U_{Вх}$ – напруга на вході і на виході чутливого елемента.

Для чутливого елемента довжиною 100 м коефіцієнт загасання дорівнює:

$$K_{зам100} = 10 \lg \frac{4}{4,45} = -0,46,$$

з чого випливає, що коефіцієнт загасання на метрі чутливого елемента становить – $4,6 \cdot 10^{-3}$.

З (2.9) можливо знайти амплітуду імпульсу який дійшов до точки в якій відбувається відображення сигналу.

$$U_{Вых} = 10^{\frac{IK_{зам}}{10}} U_{Вх}, \quad (2.10)$$

де l – відстань від початку чутливого елемента до вимірюваної ділянки.

Знаючи час повернення відображення можна визначити відстань до місця відображення зондувального імпульсу [25]:

$$l = \frac{tV}{2}, \quad (2.11)$$

де l – відстань до місця відображення, V – швидкість поширення імпульсу по чутливому елементу, t - час від подачі імпульсу до повернення його відображення.

При русі зондувального імпульсу по провіднику відбувається його затухання, також відбувається загасання відображеного імпульсу. Розрахунок коефіцієнта відбиття, за напругою зондувального імпульсу і напрузі відображення що повернулося, може призвести до помилки визначення стану чутливого елемента. Для правильного визначення коефіцієнта відбиття необхідно розраховувати коефіцієнт відбиття по напруженням відбиття і зондувального імпульсів в точці відображення.

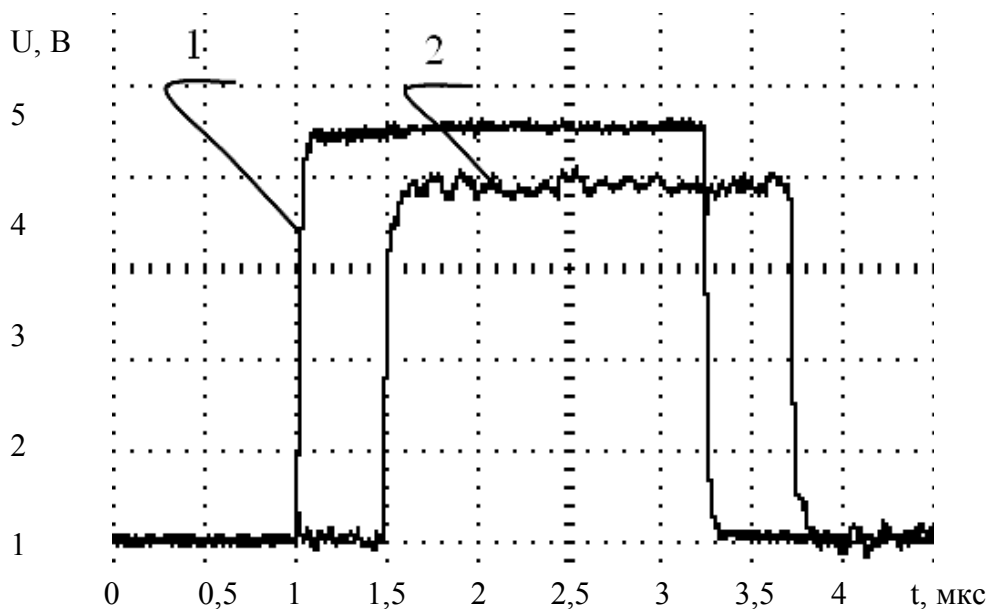


Рисунок 2.13 – Осцилограма, що ілюструє затримку поширення сигналу в ЧЕ і його загасання: 1 - сигнал на вході ЧЕ; 2 - сигнал на виході ЧЕ

Знаючи відстань до місця відображення зондувального імпульсу використовуючи (2.10) можна розрахувати амплітуду імпульсу в точці відображення. Вимірюючи напругу відбиття і відстань до місця відображення, можна визначити амплітуду віддзеркалення в точці відображення.

Маючи амплітуду зондувального імпульсу і амплітуду відбитого імпульсу можна розрахувати фактичний коефіцієнт відбиття за формулою:

$$K_{Otr\Phi} = \frac{U_{Otr\Phi}}{U_{3I\Phi}} = \frac{\frac{U_{Otr}}{IK_{3am}}}{\frac{10^{-10}}{10^{-10}} U_{3I}} = \frac{U_{Otr}}{10^{-5} U_{3I}}, \quad (2.12)$$

де $K_{Otr\Phi}$ - фактичний коефіцієнт відображення, U_{Otr} в т. отр - напруга зондувального імпульсу в точці відображення, U_{3I} в т. отр - напруга затушеного зондувального імпульсу в точці відображення, l - відстань до місця відображення

У результаті дослідження факторів, що впливають на вихідний сигнал лінійного чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я, виявлено, що завдяки узгоджувальним опорам на кінцях чутливого елемента, що наводяться в ньому шуми мають малу амплітуду, якою можна знехтувати.

Коефіцієнт загасання зменшує амплітуду зондувального і відбитого імпульсу, що призведе до помилки при визначенні станів чутливого елемента. Тому слід враховувати відстань, на якому відбулося відображення, на підставі чого підраховувати фактичний коефіцієнт відбиття.

Виміри показали, що при амплітуді зондувального імпульсу 5 В і фактичному коефіцієнті відбиття - 0,05 амплітуда відбитого сигналу на ЧЕ довжиною 1 км становить - 0,03 В, що перевищує амплітуду наводимого шуму.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА ЛІНІЙНОГО СПОВІЩУВАЧА ПОЛУМ'Я

3.1 Експериментальна установка для досліджень характеристик чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я

Для проведення експериментальних досліджень використовувалося приміщення розмірами 55х6х3,1м. У якому була обрана ділянка без вентиляції для зниження впливу наскрізних повітряних потоків. Приміщення, в якому проводились експериментальні дослідження ЛСП, відповідає вимогам до випробуваної камери, що розглянута в стандарті EN 54-10 [27].

Варійовані фактори:

- висота над осередком пожежі;
- положення по горизонталі від центру осередку;
- площа осередку пожежі;
- вид горючих матеріалів, що мають полум'яне горіння.

В якості осередку пожежі використовувалися стандартні тестові осередки пожежі, що володіють полум'яним горінням TF1(деревина), TF4(поліуретан), TF5 (n-гептан), TF6(денатурований спирт). При проведенні попередніх досліджень варіювалася площа тестових осередків пожежі, за нульовий рівень узято осередок, площею регламентованої стандартом [6], інтервал варіювання $\pm 10\%$ від площі. По вертикалі нульовий рівень знаходиться на висоті 2 м від підлоги, інтервал варіювання ± 1 м. Стандарт регламентує відстань від центру тестового осередку до місця розташування сповіщувача 3 м, тому за нульовий рівень прийнята половина цієї відстані 1,5 м, інтервал варіювання $\pm 1,5$ м.

Для проведення досліджень [25] була використана установка (рис. 3.1), яка дозволяє формувати на вході чутливого елемента прямокутні імпульси тривалістю 20 нс, після перемикає вхід чутливого елемента на вимірювальний прилад осцилограф UTD2102, на якому відображалася зміна сигналу чутливого елемента в часі. Осцилограф має 3% похибку вимірювання амплітуди. Що б мати

можливість виявити відображення на фоні шумів проводиться багаторазове вимірювання відображення з подальшим отриманням середнього значення в кожній точці осцилограми. Для зниження ймовірності збігу частоти ЗІ і шуму в формувач імпульсів реалізований запуск імпульсу з періодом $100 \text{ мс} \pm 20 \text{ мс}$ розкид задається за допомогою генератора випадкових чисел з рівномірним розподілом випадкової величини.

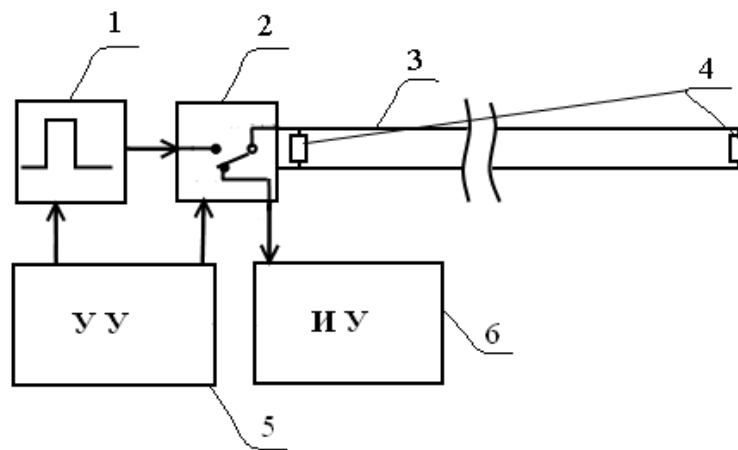


Рисунок 3.1 – Схема установки для проведення досліджень характеристик чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я: 1 – формувач імпульсу, 2 – швидкодіючий аналоговий перемикач, 3 – ЧЕ, 4 – узгоджувальний опір, 5 - керуючий пристрій, 6 – вимірювальний пристрій

Хід виконання досліджень чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я для різних типів осередків пожежі ілюструють світлини (рис. 3.2).



а)



б)

Рисунок 3.2 – Проведення досліджень характеристик чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я: а) зпалювання тестового осередку пожежі TF-1; б) зпалювання тестового осередку пожежі TF-4

3.2 Вибір вихідних даних для дослідження чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я

Щоб мати можливість побудувати ортогональну план-матрицю необхідно перевести розмірні фактори в безрозмірні, для цього потрібно зробити кодування факторів експерименту (табл. 3.1.) [26].

Кодування факторів попереднього експерименту.

Інтервал варіювання, рівень факторів	відстань (м)	Висота Н (м)	Площа TF1 S (м ²)	Площа TF4 S (м ²)	Площа TF5 S (м ²)	Площа TF6 S (м ²)
Нульовий рівень	1,5	2	0,25	0,25	0,108	0,189
Інтервал варіювання	1,5	1	0,025	0,025	0,0108	0,0189
Нижній рівень	0	1	0,225	0,225	0,09711	0,1701
Верхній рівень	3	3	0,275	0,275	0,1188	0,2079
Кодове визначення	x ₁	x ₂	x ₃	x ₃	x ₃	x ₃

Для проведення експерименту використовувався ортогональний план першого порядку (табл. 3.2). Основною перевагою такого плану є незалежна оцінка коефіцієнтів регресії. Складання план - матриці експерименту здійснюється наступним чином: для x₁ рівні чергується кожен дослід, x₂ через два дослід, x₃ через чотири дослід.

Таблиця 3.2

План – матриця повного факторного експерименту

Дослід	№ п/п	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃
планування типу 2 ³	1	+	-	-	-	+	+	+
	2	+	+	-	-	-	-	+
	3	+	-	+	-	-	+	-
	4	+	+	+	-	+	-	-
	5	+	-	-	+	+	-	-
	6	+	+	-	+	-	+	-
	7	+	-	+	+	-	-	+
	8	+	+	+	+	+	+	+

При проведенні експерименту на результати вимірювань можуть надавати впливу не тільки x_1 , x_2 , і x_3 але і ряд факторів, які можуть бути невідомі. Для того щоб внести елемент випадковості впливу цих факторів на результати експерименту, що необхідно для обґрунтованого використання апарату математичної статистики використовується випадковий порядок постановки дослідів в часі (рандомізація дослідів). Для рандомізації дослідів використовувалися таблиці випадкових чисел [27].

Для отримання найбільш достовірних результатів вимірювань при витраті меншої кількості ресурсів необхідно оцінити необхідну кількість експериментів [27] за формулою

$$n = \frac{S^2[x_i] t_p^2 [m-1] (1 + 1/2m \pm 2/\sqrt{2m})}{I_p^2},$$

де $S^2[x_i]$ – середнє арифметичне x , t_p^2 – значення коефіцієнта Стюдента для вірогідності p при m спостережень, m – число спостережень, I_p^2 – максимально допустиме відхилення середнього значення від істинного.

$$S[x_i] = \frac{W_n}{d_n},$$

де W_n – середній розмах варіювання, d_n - табличний коефіцієнт для оцінки стандартного відхилення за розмахом варіювання.

У результаті дослідження встановлено що розмах варіювання першого і другого чинника великий порівняно з третім чинником. Для отримання адекватних результатів експерименту необхідно збільшити розмах варіювання третього чинника і зменшити розмах варіювання першого і другого чинника (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Кодування факторів експерименту

Інтервал варіювання, рівень факторів	Відстань L (м)	Висота H (м)	Площа TF1 S (м ²)	Площа TF4 S (м ²)	Площа TF5 S (м ²)	Площа TF6 S (м ²)
Нульовий рівень	0,5	2	0,25	0,25	0,108	0,189
Інтервал варіювання	0,5	0,5	0,0625	0,0625	0,027	0,04725
Нижній рівень	0	1,5	0,1875	0,1875	0,081	0,14175
Верхній рівень	1	2,5	0,3125	0,3125	0,135	0,23625
Кодове визначення	X ₃	X ₁	X ₂	X ₂	X ₂	X ₂

3.3 Регресійні моделі вихідного сигналу чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я

3.3.1 Регресійна модель вихідного сигналу лінійного сповіщувача полум'я для тестового осередку пожежі TF-1

З урахуванням експериментальних даних, отриманих в попередніх дослідах, аналітичний вираз, що визначає амплітуду відбитого імпульсу в ЧЕ ЛСП при викритті осередку пожежі TF-1 можна представити у вигляді такої залежності:

$$U_{TF-1} = U(S, H, L). \quad (3.1)$$

Нехай модель (3.1) має вигляд:

$$U_{TF-1} = u_0 + u_1 \cdot x_1 + u_2 \cdot x_2 + u_3 \cdot x_3 + u_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + u_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + u_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + u_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (3.2)$$

де u_0, u_i, u_{ij} – вибіркові коефіцієнти регресії, які будуть отримані в результаті експерименту; $x_i, i = \overline{1,3}$ – кодовані змінні, пов'язані з фізичними H, S, L наступним чином

$$x_1 = \frac{S - S_0}{\delta S}; x_2 = \frac{H - H_0}{\delta H}; x_3 = \frac{L - L_0}{\delta L}; \quad (3.3)$$

де L_0, H_0, S_0 – значення факторів на нульовому рівні, представлені в табл. 3.3; $\delta L, \delta H, \delta S$ – інтервали варіювання факторів, зазначені в тій же таблиці.

Результати експерименту для тестового осередку пожежі TF-1 по плану згідно табл.3.2. наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Результати дослідів для тестового осередку пожежі TF-1

Номер дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8
Амплітуда, мВ	153,8	264	52,7	82,8	76,5	128,1	32,9	57,6

Число обчислювальних процедур має становити

$$N = 2^m = 8, \text{ при } m = 3. \quad (3.4)$$

За результатами експерименту в ядрі плану отримана оцінка

$$u_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N U_u = 106.05 \quad (3.5)$$

Згідно [26], щоб оцінити похибку досліду, вихідний план був виконаний n_0 процедурами в центрі плану. Результати експерименту в центрі плану наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Результати дослідів для тестового осередку пожежі TF-1 в центрі плану

Номер дослідів	1	2	3	4	5
Амплітуда, мВ	110,4	106,5	98	113,6	99,6

Середнє значення спостережень в центрі плану визначимо з виразу

$$\bar{U}_{\text{ц.п.}} = \frac{1}{n_0} \cdot \sum_{j=1}^{n_0} U_{\text{ц.п.},j} = 105.62, \text{ при } n_0 = 5, \quad (3.6)$$

де $U_{\text{ц.п.},j}$ – результати повторних дослідів в центрі плану (табл. 3.6).

Оцінка дисперсії помилок спостережень визначається за результатами дослідів в центрі плану, за допомогою наступного виразу:

$$s_y^2 = \frac{1}{\varphi_{\text{ц.п.}}} \cdot \sum_{j=1}^5 (U_{\text{ц.п.},j} - \bar{U}_{\text{ц.п.}})^2 = 45.4. \quad (3.7)$$

Дана оцінка має $\varphi_{\text{ц.п.}} = n_0 - 1 = 4$ ступені свободи.

Перевірка гіпотези про значущість квадратичних ефектів в моделі, яка виконується за допомогою співвідношення:

$$|\bar{U}_{\text{н.п.}} - u_0| = 0.43 < t_{(0.95; 4)} \cdot s_y \cdot \sqrt{\frac{n_0 + N}{n_0 \cdot N}} = 10.7$$

показала, що квадратичні ефекти не є статистично значущими.

Коефіцієнти регресії розрахуємо за формулами

$$u_i = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N x_{i_u} \cdot U_u ; \quad i = \overline{1,3} \quad (3.8)$$

$$u_{ij} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N x_{i_u} \cdot x_{j_u} \cdot U_u ; \quad i = \overline{1,3} ; \quad j = \overline{i+1,3}. \quad (3.9)$$

У результаті розрахунків отримані наступні значення оцінок

$$\begin{aligned} u_0 &= 106.05; u_1 = 27.075; u_2 = -49.55; u_3 = -32.275; \\ u_{12} &= -13.375; u_{13} = -8; u_{23} = 21.025; \\ u_{123} &= 6.65; \end{aligned} \quad (3.10)$$

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів регресії виконаємо за допомогою критерію Стюдента. Відповідний коефіцієнт визнається статистично значущим у разі виконання нерівності

$$|u_i| \geq u_{kp} = t_{(0.95; 4)} \cdot s_y = 6.62, \quad (3.11)$$

тут s_y визначається виразом (3.7), при $t_{(0.95; 4)} = 2.78$.

Нерівність (3.11) виконується для всіх оцінок. Модель (3.2) буде мати вигляд

$$\begin{aligned} U_{TF-1} &= 106.05 + 27.075 \cdot x_1 - 49.55 \cdot x_2 - 32.75 \cdot x_3 + \\ &+ 21.025 \cdot x_2 \cdot x_3 - 8 \cdot x_1 \cdot x_3 - 13.375 \cdot x_1 \cdot x_2 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Дисперсія адекватності $s_{ад}$ визначається виразом

$$s_{ад}^2 = \frac{1}{\varphi_{ад}} \cdot \sum_{u=1}^N (U_u - U_{спов_u})^2 = 0.574,$$

де $U_{спов}$ – значення амплітуди імпульсу, що повернувся, розрахована за формулою (3.12); $\varphi_{ад}$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності, яке дорівнює

$$\varphi_{ад} = N - k - 1 = 4.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера, дала позитивний результат.

Проведемо дослідження виразу (3.12) на екстремум. Запишемо похідні по всім змінним

$$\frac{\partial U_{TF-1}}{\partial x_1} = 27.075 - 8 \cdot x_3 - 13.375 \cdot x_2;$$

$$\frac{\partial U_{TF-1}}{\partial x_2} = -49.55 + 21.025 \cdot x_3 - 13.375 \cdot x_1;$$

$$\frac{\partial U_{TF-1}}{\partial x_3} = -32.75 + 21.025 \cdot x_2 - 8 \cdot x_1.$$

Прирівнявши праві частини отриманих виразів нулю, отримаємо систему лінійних рівнянь, яка після перетворення набуде вигляду

$$\begin{cases} 13.375 \cdot x_2 + 8x_3 = 27.075; \\ -13.375 \cdot x_1 + 21.025 \cdot x_3 = 49.55 \\ -8 \cdot x_1 + 21.025x_2 = 32.75 \end{cases} \quad (3.13)$$

Розв'язавши систему (3.13) методом Крамера маємо наступні значення координат стаціонарної точки: $x_{1c} = -1.209$, $x_{2c} = 1.075$, $x_{3c} = 1.587$.

Очевидно, що стаціонарна точка із заданими координатами знаходиться за областю визначення моделі.

Для того щоб визначитися з видом стаціонарної точки скористаємося графічною інтерпретацією рівняння (3.12) для цього побудуємо графічну залежність для випадку коли $x_2 = x_{2c}$, а x_1, x_3 змінюються від -1 до $+1$. Результати представлені на рис. 3.3.

Очевидно, що максимуму функція (3.12) досягає у точці, яка відповідає максимальному значенню x_1 та мінімальному змінної x_3 , а мінімуму відповідно – навпаки. Для перевірки цієї гіпотези виконуємо процедуру покрокового розбору по всіх трьох координатах.

По закінченні розрахунків отримані результати: максимальне значення коефіцієнта відображення $U_{TF-1max} = 257.37 \cdot \text{мВ}$, буде досягатися при наступних значеннях координат $x_1 = 1$; $x_2 = -1$; $x_3 = -1$; мінімальне значення коефіцієнта відображення $U_{TF-1min} = 39.55 \cdot \text{мВ}$, буде досягатися при наступних значеннях координат $x_1 = -1$; $x_2 = 1$; $x_3 = 1$.

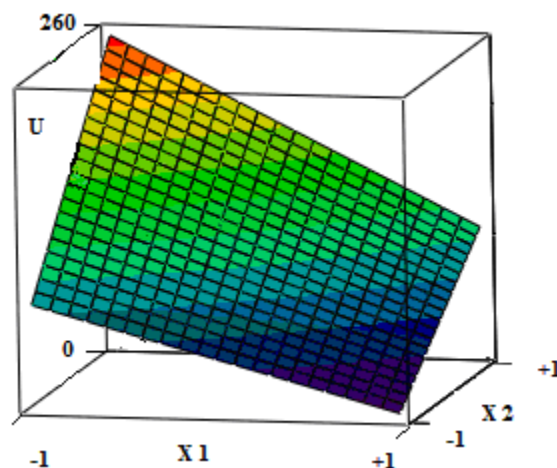


Рисунок 3.3 – Графічна інтерпретація рівняння (3.12)

Перепишемо рівняння (3.12), з урахуванням залежностей (3.3), наступним

ЧИНОМ

$$U_{TF-1} = 518.8 + 165.15 \cdot H - 273.2S - 217.7 \cdot L - \\ - 428 \cdot H \cdot S - 2 \cdot H \cdot L + 672.8 \cdot S \cdot L \quad (3.14)$$

Як показує аналіз виразу (3.12) найбільший вплив на зміну коефіцієнта відбиття виявляється при варіюванні значень площі осередку і довжини від поверхні горіння.

3.3.2 Регресійна модель вихідного сигналу лінійного сповіщувача полум'я для тестового осередку пожежі TF-4

З урахуванням експериментальних даних, отриманих в попередніх дослідах, аналітичний вираз, що визначає амплітуду відбитого імпульсу в ЧЕ ЛСП при викритті осередку пожежі TF-4 можна представити у вигляді такої залежності:

$$U_{TF-4} = u_0 + u_1 \cdot x_1 + u_2 \cdot x_2 + u_3 \cdot x_3 + u_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + u_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \\ + u_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + u_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (3.15)$$

Результати експерименту для тестового осередку пожежі TF-4 по плану згідно табл. 3.2. наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Результати дослідів для тестового осередку пожежі TF-4

Номер дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8
Амплітуда, мВ	127,44	225,52	42,65	71,24	40,22	67,07	25,89	43,02

За результатами експерименту в ядрі плану отримана оцінка

$$u_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N U_u = 80.3805$$

Згідно [26], щоб оцінити похибку досліду, вихідний план був доповнений 5 процедурами в центрі плану. Результати експерименту наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Результати дослідів для тестового осередку пожежі TF-4 в центрі плану

Номер дослідів	1	2	3	4	5
Амплітуда, мВ	89,31	80,86	73,73	86,67	75,86

Середнє значення спостережень в центрі плану визначимо з виразу

$$\bar{U}_{\text{ц.п.}} = \frac{1}{n_0} \cdot \sum_{j=1}^{n_0} U_{\text{ц.п.},j} = 81.226, \text{ при } n_0 = 5,$$

де $U_{\text{ц.п.},j}$ – результати повторних дослідів в центрі плану.

Оцінка дисперсії помилок спостережень визначається за результатами паралельних дослідів в центрі плану, за допомогою наступного виразу

$$s_y^2 = \frac{1}{4} \cdot \sum_{j=1}^5 (U_{\text{ц.п.},j} - \bar{U}_{\text{ц.п.}})^2 = 36.48393. \quad (3.16)$$

Дана оцінка має $\varphi_{\text{ц.п.}} = n_0 - 1 = 4$ ступені свободи.

Перевірка гіпотези про значущість квадратичних ефектів в моделі, показала, що

$$|\bar{U}_{\text{н.п.}} - u_0| = 0.85 < t_{(0.95;4)} \cdot s_y \cdot \sqrt{\frac{n_0 + N}{n_0 \cdot N}} = 9.57 .$$

Таким чином, квадратичні ефекти не є статистично значущими.

Коефіцієнти регресії розрахуємо за формулами (3.8), (3.9).

В результаті отримані наступні значення оцінок

$$\begin{aligned} u_0 &= 80,3805; u_1 = 21.33175; u_2 = -34.68; u_3 = -36.331; \\ u_{12} &= -9.902; u_{13} = -10.335; u_{23} = 25.0877; \\ u_{123} &= 7.4715. \end{aligned}$$

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів регресії виконаємо за допомогою критерію Стьюдента. Відповідний коефіцієнт визнається статистично значущим у разі виконання нерівності

$$|u_i| \geq u_{\text{кр}} = t_{(0.95;6)} \cdot s_y = 5.94 ; \text{ при } t_{(0.95; 4)}=2.78 \quad (3.17)$$

тут s_y визначається виразом (3.16), $t_{(0.95; 6)}$ – 95%-а точка розподілу Стьюдента з 4-мя ступенями свободи.

Нерівність (3.17) виконується для всіх оцінок. Модель (3.15) буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} U_{TF-4} &= 80.3805 + 21.33 \cdot x_1 - 34.68 \cdot x_2 - 36.33 \cdot x_3 + \\ &+ 25.09 \cdot x_2 \cdot x_3 - 10.34 \cdot x_1 \cdot x_3 - 9.9x_1 \cdot x_2 \end{aligned} \quad (3.18)$$

Дисперсія адекватності $s_{\text{ад}}$ визначається виразом:

$$s_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{\varphi_{\text{ад}}} \cdot \sum_{u=1}^N (U_u - U_{\text{спов}})^2 = 0.574,$$

де $U_{\text{спов}}$ – значення амплітуди імпульсу, що повернувся; $\varphi_{\text{ад}}$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності, яке дорівнює

$$\varphi_{\text{ад}} = N - k - 1 = 4.$$

Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера, дала позитивний результат.

Проведемо дослідження виразу (3.18) на екстремум. Запишемо похідні по всім змінним

$$\frac{\partial U_{TF-4}}{\partial x_1} = 21.33 - 10.34 \cdot x_3 - 9.9 \cdot x_2;$$

$$\frac{\partial U_{TF-4}}{\partial x_2} = -34.68 + 25.09 \cdot x_3 - 9.9 x_1;$$

$$\frac{\partial U_{TF-4}}{\partial x_3} = -36.33 + 25.09 \cdot x_2 - 10.34 \cdot x_1;$$

Прирівнявши праві частини отриманих виразів нулю, отримаємо систему лінійних рівнянь, яка після перетворення набуде вигляду

$$\begin{cases} 21.33 = 9.9 \cdot x_2 + 10.34 \cdot x_3; \\ 34.68 = -9.9 x_1 + 25.09 \cdot x_3 \\ 36.33 = -10.34 \cdot x_1 + 25.09 \cdot x_2 \end{cases} \quad (3.19)$$

Розв'язавши систему (3.19) методом Крамера маємо наступні значення координат стаціонарної точки: $x_{1c} = -0.89$, $x_{2c} = 1.08$, $x_{3c} = 1.03$.

Очевидно, що стаціонарна точка із заданими координатами знаходиться за областю визначення моделі.

Для того щоб визначитися екстремальними значеннями виразу (3.18)

скористаємося графічною інтерпретацією рівняння для цього побудуємо графічну залежність для випадку коли $x_1 = x_{1c}$, а x_2, x_3 змінюються від -1 до $+1$. Результати представлені на рис. 3.4.

Очевидно, що максимуму функція (3.18) досягає у точці, яка відповідає мінімальним значенням змінних x_2, x_3 , а мінімуму відповідно – максимальне значення x_2, x_3 . Для перевірки цієї гіпотези виконуємо процедуру покрокового розбору по всіх трьох координатах.

По закінченні розрахунків отримані результати: максимальне значення коефіцієнта відображення $U_{TF-4max} = 218.04 \cdot \text{мВ}$, буде досягатися при наступних значеннях координат $x_1 = 1; x_2 = -1; x_3 = -1$; мінімальне значення коефіцієнта відображення $U_{TF-4min} = 33.36 \cdot \text{мВ}$, буде досягнуто при наступних значеннях координат $x_1 = -1; x_2 = 1; x_3 = 1$.

Перепишемо рівняння (3.18), з урахуванням залежностей (3.9), наступним чином

$$U_{TF-4} = 255.17 + 39.965 \cdot H - 956.52 \cdot S - 252.7 \cdot L - 316.8 \cdot H \cdot S - 41.36 \cdot H \cdot L + 802.88 \cdot S \cdot L$$

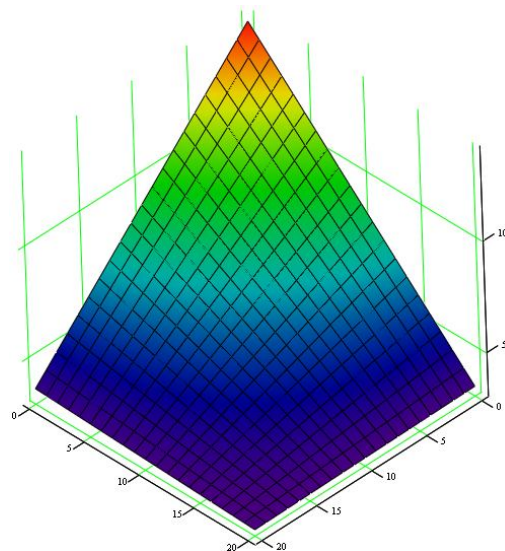


Рисунок 3.4 – Графічна інтерпретація рівняння (3.18)

Як показує аналіз виразу (3.18) найбільший вплив на зміну коефіцієнта відбиття виявляється при варіюванні значень площі осередку і довжини від поверхні горіння.

3.3.3 Регресійна модель вихідного сигналу лінійного сповіщувача полум'я для тестового осередку пожежі TF-5

З урахуванням експериментальних даних, що визначають межі використання сповіщувача для окремих випадків, вираз функції відгуку можна представити у вигляді такої залежності:

$$U_{TF-5} = u_0 + u_1 \cdot x_1 + u_2 \cdot x_2 + u_3 \cdot x_3 + u_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + u_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + u_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + u_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (3.20)$$

Результати експерименту для тестового осередку пожежі TF-5 по плану згідно табл.3.2. наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Результати дослідів для тестового осередку пожежі TF-5

Номер дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8
Амплітуда, мВ	120,12	190,52	39,29	65,38	37,15	63,42	24,85	41,17

За результатами експерименту в ядрі плану отримана оцінка

$$u_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N U_u = 72.74$$

Згідно [26], щоб оцінити похибку досліду, вихідний план був доповнений 5 процедурами в центрі плану. Результати експерименту наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Результати дослідів для тестового осередку пожежі TF-5 в центрі плану

Номер дослідів	1	2	3	4	5
Амплітуда, мВ	72,33	67,79	82,33	69,6	70,11

Середнє значення спостережень в центрі плану визначимо з виразу

$$\bar{U}_{\text{ц.п.}} = \frac{1}{n_0} \cdot \sum_{j=1}^{n_0} U_{\text{ц.п.},j} = 81.41, \text{ при } n_0 = 5,$$

де $U_{\text{ц.п.},j}$ – результати повторних дослідів в центрі плану.

Оцінка дисперсії помилок спостережень визначається за результатами двох паралельних дослідів в центрі плану, за допомогою наступного виразу

$$s_y^2 = \frac{1}{4} \cdot \sum_{j=1}^5 (U_{\text{ц.п.},j} - \bar{U}_{\text{ц.п.}})^2 = 44.893. \quad (3.21)$$

Дана оцінка має $\varphi_{\text{ц.п.}} = n_0 - 1 = 4$ ступені свободи.

Перевірка гіпотези про значущість квадратичних ефектів в моделі, показала, що

$$|\bar{U}_{\text{ц.п.}} - m_0| = 8,67 < t_{(0,95;4)} \cdot s_y \cdot \sqrt{\frac{n_0 + N}{n_0 \cdot N}} = 10.62.$$

Таким чином, квадратичні ефекти не є статистично значущими.

Коефіцієнти регресії розрахуємо за формулами (3.8), (3.9).

У результаті розрахунків отримані наступні значення оцінок

$$u_0 = 72.74; u_1 = 17.38; u_2 = -30.06; u_3 = -31.09; \\ u_{12} = -6.78; u_{13} = -6.74; u_{23} = 21.43; u_{123} = 4.3.$$

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів регресії виконаємо за допомогою критерію Стьюдента. Відповідний коефіцієнт визнається статистично значущим у разі виконання нерівності

$$|u_i| \geq u_{кр} = t_{(0.95; 4)} \cdot s_y = 6.59, \quad (3.22)$$

тут s_y визначається виразом (3.21), при $t_{(0.95; 4)} = 2.78$.

Нерівність (3.22) виконується для всіх оцінок. Модель (3.20) буде мати вигляд

$$U_{TF-5} = 72.74 + 17.38 \cdot x_1 - 30.06 \cdot x_2 - 31.09 \cdot x_3 + \\ + 21.426 \cdot x_2 \cdot x_3 - 6.74 \cdot x_1 \cdot x_3 - 6.78 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3.23)$$

Дисперсія адекватності $s_{ад}$ визначається виразом

$$s_{ад}^2 = \frac{1}{\varphi_{ад}} \cdot \sum_{u=1}^N (U_u - U_{спов_u})^2 = 0.574,$$

де $U_{спов}$ – значення амплітуди імпульсу, що повернувся розрахована за формулою (3.23); $\varphi_{ад}$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності, яке дорівнює

$$\varphi_{ад} = N - k - 1 = 4$$

Перевірка адекватності моделі (3.23) за критерієм Фішера, дала позитивний результат. Проведемо дослідження виразу (3.23) на екстремум. Запишемо похідні по всім змінним

$$\frac{\partial U_{TF-5}}{\partial x_1} = 17.38 - 6.74 \cdot x_3 - 6.78 \cdot x_2;$$

$$\frac{\partial U_{TF-5}}{\partial x_2} = -30.06 + 21.426 \cdot x_3 - 6.78 \cdot x_1;$$

$$\frac{\partial U_{TF-5}}{\partial x_3} = -31.09 + 21.426 \cdot x_2 - 6.74 \cdot x_1;$$

Прирівнявши праві частини отриманих виразів нулю, отримаємо систему лінійних рівнянь, яка після перетворення набуде вигляду

$$\begin{cases} -17.38 = -6.78 \cdot x_2 - 6.74 \cdot x_3 \\ -30.06 = -6.78 \cdot x_1 + 21.426 \cdot x_3 \\ 31.09 = -6.74 \cdot x_1 + 21.426 \cdot x_2 \end{cases} \quad (3.24)$$

Розв'язавши систему (3.24) методом Крамера маємо наступні значення координат стаціонарної точки: $x_{1c} = -0.45$, $x_{2c} = 1.31$, $x_{3c} = 1.261$. Очевидно, що стаціонарна точка із заданими координатами знаходиться за областю визначення моделі.

Для того щоб визначитися з екстремальними значеннями залежності (3.23) скористаємося графічною інтерпретацією цього рівняння для випадку коли $x_1 = x_{1c}$, а x_2, x_3 змінюються від -1 до $+1$. Результати представлені на рис. 3.5.

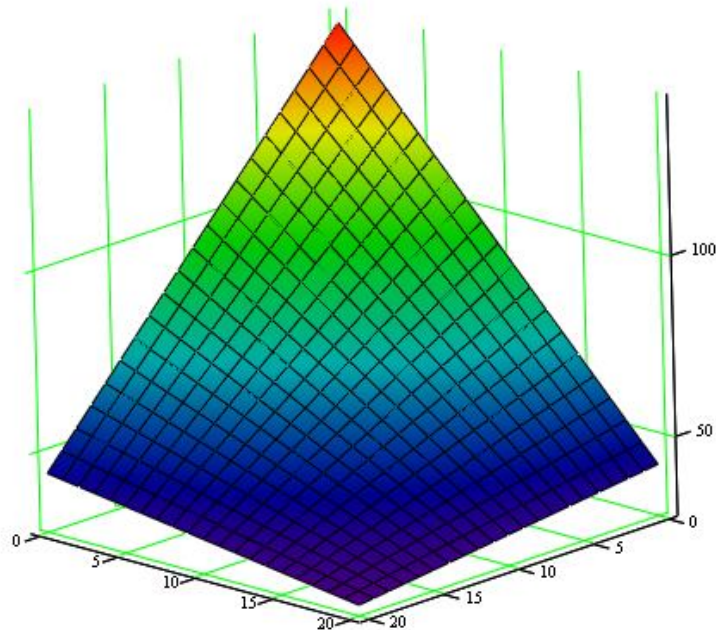


Рисунок 3.5 – Графічна інтерпретація рівняння (3.23)

Виконуємо процедуру покрокового розбору по всіх трьох координатах.

По закінченні розрахунків отримані результати: максимальне значення коефіцієнта відображення $U_{\max} = 186.21$ мВ буде досягатися при наступних значеннях координат $x_1 = 1$; $x_2 = -1$; $x_3 = -1$; мінімальне значення коефіцієнта відображення $U_{\min} = 29.15$ мВ буде досягатися при наступних значеннях координат $x_1 = -1$; $x_2 = 1$; $x_3 = 1$.

Перепишемо рівняння (3.23), з урахуванням залежностей (3.3), наступним чином

$$U_{TF-5} = 104.813 + 102.48 \cdot H - 389.86 \cdot S - 179.66 \cdot L - \\ - 216.96 \cdot H \cdot S - 29.96 \cdot H \cdot L + 685.63 \cdot S \cdot L$$

Як показує аналіз виразу (3.23) найбільший вплив на зміну коефіцієнта відбиття виявляється при варіюванні значень площі осередку і довжини від поверхні горіння.

3.3.4 Регресійна модель вихідного сигналу лінійного сповіщувача полум'я для тестового осередку пожежі TF-6

З урахуванням експериментальних даних, що визначають межі використання сповіщувача для окремих випадків, вираз функції відгуку можна представити у вигляді такої залежності:

$$U_{TF-6} = u_0 + u_1 \cdot x_1 + u_2 \cdot x_2 + u_3 \cdot x_3 + u_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + u_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + u_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + u_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (3.25)$$

Результати експерименту для тестового осередку пожежі TF-6 по плану згідно табл.3.2. наведено в табл. 3.10.

За результатами експерименту в ядрі плану отримана оцінка

$$u_0 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N U_u = 98.81$$

Згідно [26], щоб оцінити похибку досліду, вихідний план був доповнений 5 процедурами в центрі плану. Результати експерименту наведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.10

Результати дослідів для тестового осередку пожежі TF-6

Номер дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8
Амплітуда, мВ	165,85	268,27	52,08	86,04	49,77	83,41	32,9	52,17

Таблиця 3.11

Результати дослідів для тестового осередку пожежі ТГ-6 в центрі плану

Номер дослідів	1	2	3	4	5
Амплітуда, мВ	99,09	105,42	111,07	91,36	101,59

Середнє значення спостережень в центрі плану визначимо з виразу

$$\bar{U}_{\text{ц.п.}} = \frac{1}{n_0} \cdot \sum_{j=1}^{n_0} U_{\text{ц.п.},j} = 109.705, \text{ при } n_0 = 5,$$

де $U_{\text{ц.п.},j}$ – результати повторних дослідів в центрі плану.

Оцінка дисперсії помилок спостережень визначається за результатами двох паралельних дослідів в центрі плану, за допомогою наступного виразу

$$s_y^2 = \frac{1}{4} \cdot \sum_{j=1}^5 (U_{\text{ц.п.},j} - \bar{U}_{\text{ц.п.}})^2 = 10.89. \quad (3.26)$$

Дана оцінка має $\varphi_{\text{ц.п.}} = n_0 - 1 = 4$ ступені свободи.

Перевірка гіпотези про значущість квадратичних ефектів в моделі, показала, що

$$|\bar{U}_{\text{ц.п.}} - u_0| = 10.89 < t_{(0.95;4)} \cdot s_y \cdot \sqrt{\frac{n_0 + N}{n_0 \cdot N}} = 11.71.$$

Таким чином, квадратичні ефекти не є статистично значущими.

Коефіцієнти регресії розрахуємо за формулами (3.8), (3.9).

У результаті розрахунків отримані наступні значення оцінок

$$u_0 = 98.81; u_1 = 23.66; u_2 = -43.01; u_3 = -44.25;$$

$$u_{12} = -10.36; u_{13} = -10.43; u_{23} = 30.99; u_{123} = 6.76.$$

Оцінку статистичної значущості коефіцієнтів регресії виконаємо за допомогою критерію Стьюдента. Відповідний коефіцієнт визнається статистично значущим у разі виконання нерівності

$$|u_i| \geq u_{кр} = t_{(0.95;4)} \cdot s_y = 7.33, \quad (3.27)$$

тут s_y визначається виразом (3.26), при $t_{(0.95;4)} = 2.78$.

Нерівність (3.27) виконується для всіх оцінок. Модель (3.25) буде мати вигляд

$$U_{TF-6} = 98.81 + 23.66 \cdot x_1 - 43.01 \cdot x_2 - 44.25 \cdot x_3 +$$

$$+ 30.99 \cdot x_2 \cdot x_3 - 10.43 \cdot x_1 \cdot x_3 - 10.36 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (3.28)$$

Дисперсія адекватності $s_{ад}$ визначається виразом

$$s_{ад}^2 = \frac{1}{\varphi_{ад}} \cdot \sum_{u=1}^N (U_u - U_{спов_u})^2 = 0.574,$$

де $U_{спов}$ – значення амплітуди імпульсу, що повернувся, розраховане за формулою (3.28); $\varphi_{ад}$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності, яке дорівнює $\varphi_{ад} = 4$

Перевірка адекватності моделі (3.28) за критерієм Фішера, дала позитивний результат. Проведемо дослідження виразу (3.28) на екстремум. Запишемо похідні по всім змінним

$$\frac{\partial U_{TF-6}}{\partial x_1} = 23.66 - 10.43 \cdot x_3 - 10.36 \cdot x_2;$$

$$\frac{\partial U_{TF-6}}{\partial x_2} = -43.01 + 30.99 \cdot x_3 - 10.36 \cdot x_1;$$

$$\frac{\partial U_{TF-6}}{\partial x_3} = -44.2 + 30.99 \cdot x_2 - 10.43 \cdot x_1.$$

Прирівнявши праві частини отриманих виразів нулю, отримаємо систему лінійних рівнянь, яка після перетворення набуде вигляду

$$\begin{cases} 23.66 = 10.36 \cdot x_2 + 10.43 \cdot x_3 \\ 43.01 = -10.36 \cdot x_1 + 30.99 \cdot x_3 \\ 44.2 = -10.43 \cdot x_1 + 30.99 \cdot x_2 \end{cases}$$

У результаті розрахунку маємо наступні значення координат стаціонарної точки: $x_{1c} = -4.243$, $x_{2c} = -2.275 \cdot 10^{-9}$, $x_{3c} = 2.268$. Очевидно, що стаціонарна точка із заданими координатами знаходиться за областю визначення моделі.

Для того щоб визначитися з екстремальними значеннями виразу (3.28) скористаємося графічною інтерпретацією рівняння для випадку коли $x_2 = x_{2c}$, а x_1 , x_3 змінюються від -1 до $+1$. Результати представлені на рис. 3.6.

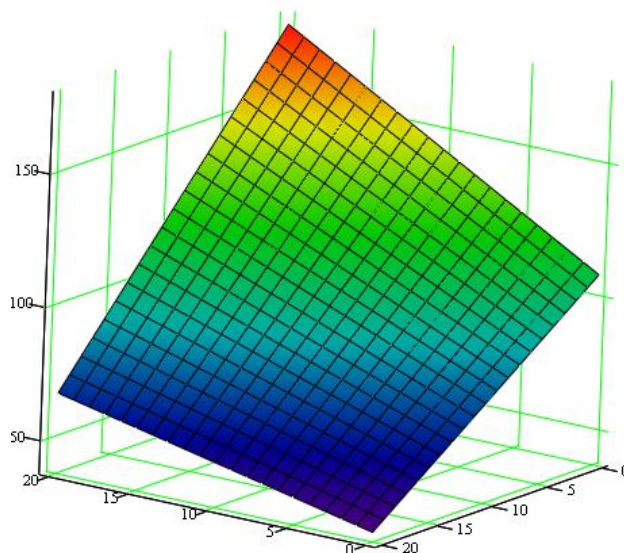


Рисунок 3.6 – Графічна інтерпретація рівняння (3.28)

Очевидно, що максимуму функція досягає у точці, яка відповідає максимальному значенню x_1 та мінімальному x_3 , а мінімуму мінімальному x_1 та максимальному значенню x_3 . Для перевірки цієї гіпотези виконуємо процедуру покрокового розбору по всіх трьох координатах.

По закінченні розрахунків отримані результати: максимальне значення коефіцієнта відображення $U_{TF-6max} = 261.5 \cdot \text{мВ}$, буде досягатися при наступних значеннях координат $x_1 = 1$; $x_2 = -1$; $x_3 = -1$; мінімальне значення коефіцієнта відображення $U_{TF-6min} = 39.55 \cdot \text{мВ}$, буде досягатися при наступних значеннях координат $x_1 = -1$; $x_2 = 1$; $x_3 = 1$.

Перепишемо рівняння (3.26), з урахуванням залежностей (3.9), наступним чином

$$U_{TF-6} = 468.46 + 151.06 \cdot H - 520.96 \cdot S - 252.98 \cdot L + \\ + 331.52 \cdot H \cdot S - 41.72 \cdot H \cdot L + 991.68 \cdot S \cdot L$$

Як показує аналіз виразу (3.26) найбільший вплив на зміну коефіцієнта відбиття виявляється при варіюванні значень площі осередку і довжини від поверхні горіння.

3.4 Експериментальне визначення координат осередку пожежі за допомогою лінійного сповіщувача полум'я

Експериментальні дослідження проводилися в підвальному приміщенні розмірами 55x6x3,1 м, у центрі якого розміщалося тестовий осередок пожежі TF-6 (денатурований спирт), характеристики якого викладені в стандарті [10].

Чутливий елемент ЛСП розташовувався уздовж приміщення на висоті 2,8 м на рівному видаленні від бічних стін.

На першому етапі, за допомогою установки, яка докладно описана в п.2.5 (див рис. 2.12), була експериментально визначена швидкість поширення зондувального імпульсу в проводі ТРП 2x0,4. Для цього до чутливого елемента підключені узгоджувальні опори і за допомогою генератора прямокутних імпульсів поданий сигнал на вхід лінії. Вихідний сигнал фіксувався осцилографом UTD2102. Часова осцилограма, що дозволяє визначити швидкість поширення імпульсу, наведена на рис 2.13.

Різниця між моментом подачі на вхід лінії довжиною 100 м імпульсу й моментом його появи на осцилографі становить 500 нс. Звідки швидкість поширення імпульсу по ЧЕ з проводу ТРП 2x0,4 становить $2 \cdot 10^8$ м/с.

Потім чутливий елемент підключався до установки, що складається з формувача імпульсу, швидкодіючого аналогового перемикача, пристрою керування й вимірювального пристрою, детальний опис її даний в п. 3.1. На підлозі приміщення, на проекції осі ЧЕ на горизонтальну площину, розміщався піддон з денатурованим спиртом.

Відстань L , на якому розміщалося тестовий осередок пожежі відносно початку ЧЕ, у ході експерименту змінювалась із кроком 20 м. Загальна довжина ЧЕ становила 325 м.

У приміщенні можна було розмістити 55 м ЧЕ уздовж однієї лінії, інша частина проводу поміщалася в металеву трубу й заземлювалась.

Вимір відстані L , спочатку виконувалося допомогою рулетки із ціною ділення 1 мм. Експериментальна установка переводилася в режим зондування, після цього підпалювався тестовий осередок. Вимір часу проходження відбитого імпульсу провадилася по отриманій на вимірювальному пристрої осцилограмі. Далі з урахуванням отриманого значення швидкості поширення імпульсу по ЧЕ розрахунком визначалася відстань до тестового осередку пожежі. У кожному досліді провадилася три повторних виміри, результати яких усереднювались. Результати експериментів представлені в табл. 3.12

Результати експериментального визначення відстані до осередку пожежі

Відстань до тестового осередку обмірюване рулеткою, м	35	75	115	155	195	235	275	315
Середнє значення часу проходження відбитого імпульсу, нс	161	394	569	817	985	1134	1354	1559
Відстань до тестового осередку визначене за допомогою ЛСП, м	32,2	78,75	113,85	163,53	196	226,78	270,88	311,85
Відносна похибка визначення відстані, %	8	4,7	1	5,5	0,5	3,5	1,5	1,1

Порівнюючи результати експериментального визначення відстані до осередку пожежі, отримані за допомогою ЛСП і фактичні можна оцінити помилку визначення відстані

На підставі експериментальних досліджень підтверджена практична можливість визначення відстані до осередку полум'яного горіння за допомогою ЛСП. Визначено мінімальну довжину ЧЕ ЛСП, при якій можливе визначення відстані до осередку пожежі. Помилка визначення відстані для ЧЕ довжиною до 500 метрів не перевищує 10 %.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО РОЗРОБЦІ ТА ВИКОРИСТАННЮ ЛІНІЙНОГО СПОВІЩУВАЧА ПОЛУМ'Я

4.1 Вхідні параметри для розробки лінійного сповіщувача полум'я

На основі результатів експериментальних досліджень, визначені технічні можливості активного лінійного сповіщувача полум'я.

$$\begin{aligned} U_{\text{вих}}^{\text{max}} &= \{U_{\text{TF-1}}, U_{\text{TF-4}}, U_{\text{TF-5}}, U_{\text{TF-6}}, \} , \text{ мВ} \\ U_{\text{вих}}^{\text{max}} &= \{257.37, 218.04, 186.21, 261.5\} , \text{ мВ} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Очевидно, що значення напруги (4.1) відображеного сигналу мають розбіжність якою можна нехтувати. Цей факт говорить про те, що даний чутливий елемент буде однаково реагувати на усі види відкритого полум'я, які приймали участь в експерименті.

Побудовані математичні моделі дозволили розрахувати коефіцієнт відображення.

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{max}}^{\text{TF-1}} &= 257.37 \\ U_{\text{min}}^{\text{TF-1}} &= 39.55 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} K_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}}^{\text{TF-1}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0.257}{5} = 0.05 \\ K_{\text{min}} = \frac{U_{\text{min}}^{\text{TF-1}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0.039}{5} = 0.008 \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{max}}^{\text{TF-4}} &= 218.04 \\ U_{\text{min}}^{\text{TF-4}} &= 33.36 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} K_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}}^{\text{TF-4}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0.218}{5} = 0.044 \\ K_{\text{min}} = \frac{U_{\text{min}}^{\text{TF-4}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0.033}{5} = 0.007 \end{cases}$$

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{max}}^{\text{TF-5}} &= 186.21 \\ U_{\text{min}}^{\text{TF-5}} &= 29.15 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} K_{\text{max}} = \frac{U_{\text{max}}^{\text{TF-5}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0.186}{5} = 0.04 \\ K_{\text{min}} = \frac{U_{\text{min}}^{\text{TF-5}}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0.029}{5} = 0.006 \end{cases}$$

$$\left. \begin{array}{l} U_{\max}^{TF-6} = 261.55 \\ U_{\min}^{TF-6} = 39.55 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{cases} K_{\max} = \frac{U_{\max}^{TF-6}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0.262}{5} = 0.05 \\ K_{\min} = \frac{U_{\min}^{TF-6}}{U_{\text{ex}}} = \frac{0.039}{5} = 0.008 \end{cases}$$

Визначимо мінімальне та максимальне значення коефіцієнту відображення з отриманих в (4.2).

$$\begin{aligned} K_{\max} &= 0.05 \\ K_{\min} &= 0.006 \end{aligned}$$

Визначаємо відповідно межі реагування на відображений сигнал чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я, які формуватимуть сигнал «пожежа».

$$0.05 > K > 0,006 \quad \text{—стан «пожежа»}$$

На підставі отриманих моделей сповіщувача з'являється можливість отримати вхідні дані для розробки діючого зразка лінійного сповіщувача полум'я.

Розроблювальний пристрій повинен мати можливість формувати зондувальні імпульси довільної тривалості і надсилати їх по чутливому елементу. Мінімумально можлива тривалість імпульсу повинна бути не більше 20 нс. Також повинна бути передбачена можливість зміни паузи між зондувальними імпульсами, під час яких відбувається вимір відображення. Зміна паузи між імпульсами необхідно, що б мати можливість підключення чутливого елемента бажаної довжини.

Амплітуда, шумів, що наводяться на чутливий елемент в спокійному стані, не перевищує 0,02 В. З цього випливає що відображення можна вимірювати або із застосуванням аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) або граничного елемента. Вимірювання відображення за допомогою АЦП має ряд переваг: можливість точного визначення параметрів відбитого імпульсу, можливість вимірювання відображення амплітуда якого менше або дорівнює амплітуді шуму,

як наслідок можливість застосування чутливого елемента з проводів нижчої якості. Недолік - дорожнеча швидкодіючих елементів і складність конструкції. Перевагою вимірювання відображення за допомогою граничного елемента є порівняльна дешевизна елементної бази, простота конструкції і як наслідок спрощення керуючої програми.

Діючий зразок сповіщувача на виході повинен видавати сигнал за яким можливо визначити стан ЧЕ, а також відстань до пожежі або пошкодження чутливого елемента.

Наведені вище функції мають певну специфіку й готового рішення немає. Тому існує необхідність у розробці такого пристрою. За його основу доцільно взяти швидкодіючий програмований мікроконтролер (МК), що дозволяє гнучко змінювати керуючу програму [28], а також реалізовувати різні алгоритми ідентифікації станів ЧЕ. Сучасні швидкодіючі МК мають істотний потенціал для розробки мікроконтролерних систем, що обумовлено більшим внутрішнім обсягом пам'яті для керуючої програми (КП), більшою кількістю портів вводу-виводу й інших внутрішніх пристроїв, у результаті чого функціональність мікроконтролера для перерахованих вище функцій надлишкова. Тому доцільно об'єднати функції лінійного сповіщувача полум'я із приймально-контрольним приладом. У результаті пристрій повинний відображувати стан чутливого елемента й вказувати відстань до осередку пожежі або ушкодження чутливого елемента, а також подавати звукові сигнали й формувати керуючі сигнали для систем пожежної автоматики. Оскільки сповіщувач має позиційну чутливість існує можливість вказувати замість відстані до пожежі назву об'єкта, приміщення або їхніх частин де відбулася пожежа або ушкодження ЧЕ.

4.2 Структурна та електрична схеми лінійного сповіщувача полум'я

З огляду на необхідну функціональність ЛСП повинен складатися з: мікроконтролера, формувача імпульсів, аналогового перемикача, індикатора,

блоку видачі звукових сигналів, інтерфейсу управління системами пожежної автоматики, у випадку виміру відбиття з використанням першого способу, що описаний в п.4.1 — АЦП і операційного підсилювача (рис. 4.1) або набору граничних елементів у випадку виміру другим способом п.4.1 (рис. 4.2).

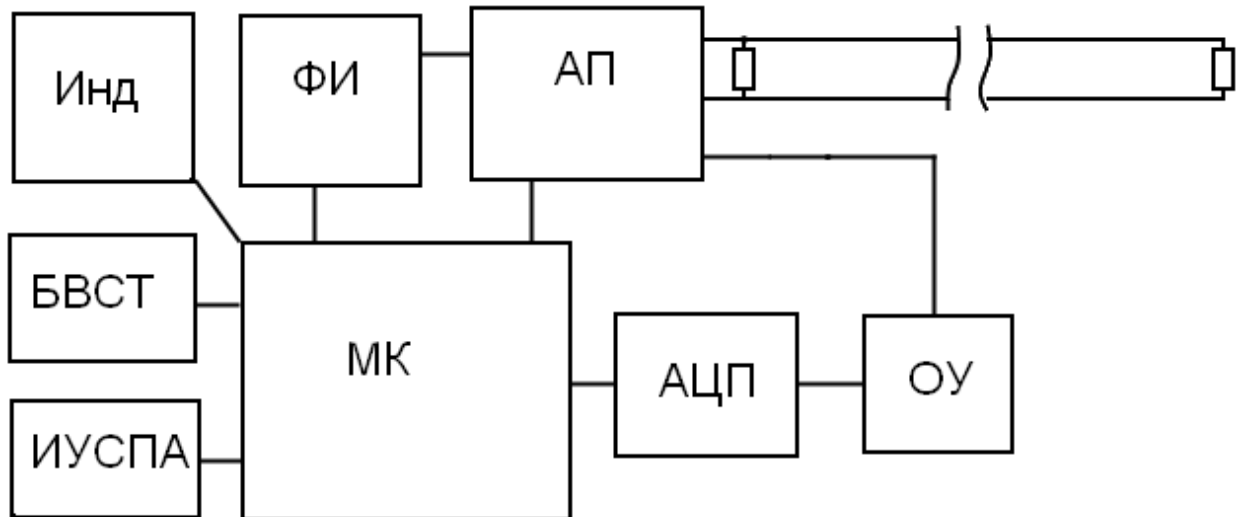


Рисунок 4.1 – Структурна схема ЛСП з використанням АЦП: Инд - індикатор, ФИ - формувач імпульсів, АП - аналоговий перемикач, БВСТ - блок видачі сигналів тривоги, МК - мікроконтролер, АЦП - аналогово-цифровий перетворювач, ОУ - операційний підсилювач, ИУСА - інтерфейс управління системами пожежної автоматики.

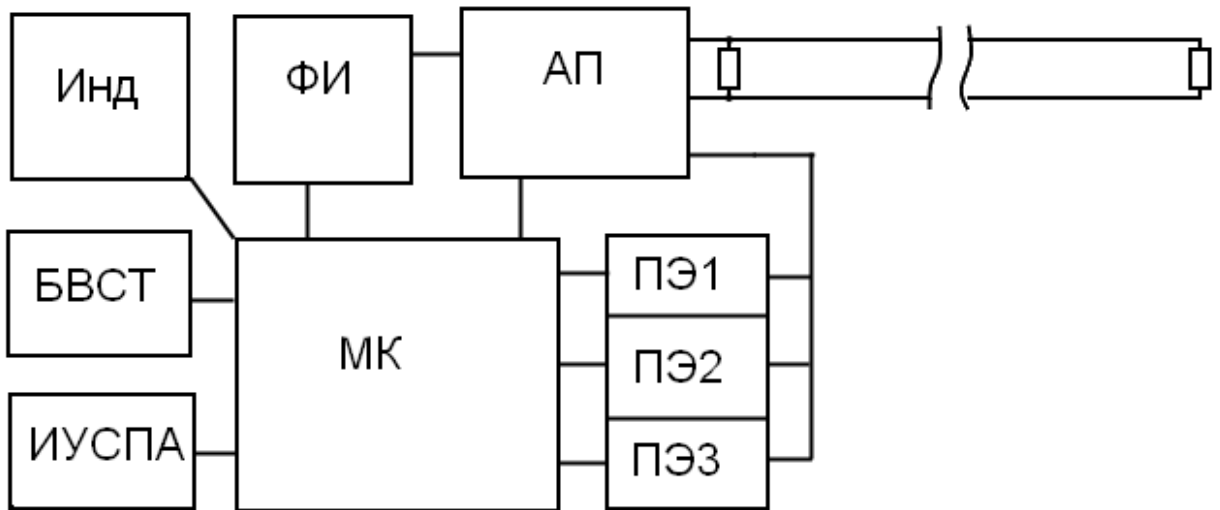


Рисунок 4.2 – Структурна схема ЛСП з використанням порогового елементу: Инд - індикатор, ФИ - формувач імпульсів, АП - аналоговий перемикач, БВСТ - блок видачі сигналів тривоги, МК - мікроконтролер, ПЭ1 - ПЭ3 - граничні елементи, ИУСА - інтерфейс керування системами пожежної автоматики.

Після розробки структурної схеми необхідно провести добір елементної бази для пристрою. Елемент, повинен забезпечувати необхідну швидкодію, точність і надійність роботи в умовах при яких пристрій буде використовуватися. Основну увагу при підборі елементної бази варто приділити наступним частинам пристрою: ФИ, АП, ОУ, АЦП, ПЭ й МК тому що вони працюють на високих частотах і відіграють вирішальну роль у формуванні зондувального імпульсу (ЗІ) й аналізі відбитого сигналу. Інші частини пристрою працюють на низьких частотах і мають стандартні інтерфейси й рішення.

ФИ й АП підбираються з міркувань найвищої швидкодії, що б формувати ЗІ найменшої тривалості. У якості ФИ обрана мікросхема (МС) TC4429, що має час перемикання 20 нс і дозволяє формувати імпульс амплітудою до 18 В. У якості АП обрана мікросхема ADG719, час включення якої становить 12 нс, відключення 6 нс. Час відключення є найбільш важливим, тому що з'єднання ФИ й ЧЕ можна зробити попередньо перед початком формування ЗІ, а відключати необхідно

відразу після закінчення формування імпульсу. Ця МС дозволяє комутирувати аналогові сигнали напругою до 5,5 В, що обмежує амплітуду ЗІ до 5 В.

Маючи час мінімально можливого ЗІ для виміру за допомогою АЦП (рис. 4.1) необхідно підібрати ОУ, АЦП і МК, що відповідає по швидкодії для АЦП. Оскільки в якості ЗІ використовується позитивний імпульс амплітудою 5 В и тривалістю від 20 нс, який можна розглядати як напівперіод циклічного сигналу, його миттєва частота буде становити 25 МГц. Одержуване відбиття від точкової неоднорідності має таку ж тривалість як і ЗІ. Виходячи з теореми Найквіста [29] частота дискретизації повинна бути як мінімум у два рази вище максимальної частоти цифрового сигналу.

$$f_{\text{Дискр}} \geq 2f_{\text{Сиг}}$$

де $f_{\text{Дискр}}$ – частота дискретизації, $f_{\text{Сиг}}$ – максимальна частота цифрового сигналу.

У такий спосіб мінімальна частота дискретизації повинна становити не менш 50 МГц. Оскільки в реальних умовах неможливо одержати ідеальний прямокутний імпульс через вплив індуктивності виводів мікросхем, провідників і провідників електронних плат і їхньої взаємної ємності фронти й спади ЗІ не прямокутні. У результаті якщо вибірка відбувається на самому початку фронту відбиття наступна відбудеться тільки поблизу закінчення спаду відбитого імпульсу, у результаті відбиття буде упущене (рис. 4.3). Тому частота дискретизації повинна бути не менш 100 МГц. АЦП може бути вбудований у МК.

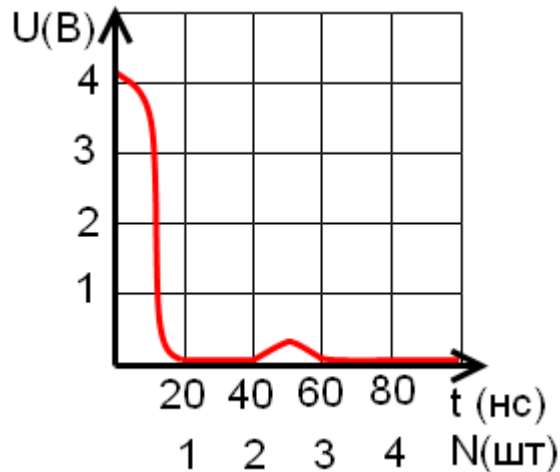


Рисунок 4.3 – Відбитий ЗІ, що пройшов між другим і третім виміром АЦП і не був обмірюваний.

Оскільки у випадку пожежі відбитий сигнал має амплітуду не більше 0,5 В, а з урахуванням розташування ЧЕ щодо пожежі й загасання ЗІ й відбитого імпульсу при русі по ЧЕ й того менше, вимірюваний сигнал необхідно підсилювати. Для цього необхідно підібрати ОУ, що може підсилювати сигнал з частотою не менш ніж до 25 МГц і робочою напругою не менш подвійної напруги ЗІ, тобто не менш 10 В. У якості ОУ може підійти AD8052, що може підсилювати сигнали до 110 МГц і може живитися постійною напругою від 3 до 12 В.

З огляду на швидкості необхідні для відправлення ЗІ й виміру відбитого сигналу якості МК обраний трьохядерний МК із частотою ядра 204 МГц з внутрішнім АЦП, що має можливість роботи на швидкості до 100 МГц.

При вимірі за допомогою порогових елементів необхідно підібрати ПЕ. ПЕ уявляє із себе швидкодіючий аналоговий компаратор, обв'язка якого дозволяє задавати поріг, при якому буде змінюватися логічний стан на його виході. Як аналоговий компаратор обраний AD8561, час спрацьовування якого 8,2 нс, напруга живлення від 3 до 10 В.

Для виміру за допомогою граничних елементів МК може мати меншу швидкодію. У якості МК обраний мікроконтролер STM32f103VET6. Частота портів МК 50 МГц, частота процесора до 72 МГц.

Виходячи з роздрібних асортиментів деталей пропонованого на Україні й ціни був обраний спосіб виміру відбиття за допомогою граничних елементів. Для одержання можливості визначення всіх станів ЧЕ використані три граничних елементи, настроєні на різні рівні (див. рис. 4.2). У цьому випадку пристрій буде складатися з відладочної плати до складу якої входить мікроконтролер STM32f103VET6, інтерфейс для з'єднання із ПК, графічний кольоровий LCD дисплей ILI9331, вхідні й вихідні інтерфейси й формувач звукового сигналу. До відладочної плати підключені БФИ, АП і ПЕ. Схема електричних з'єднань елементів лінійного сповіщувача полум'я наведена на рис. 4.4. (Додаток А).

4.3 Алгоритм роботи управляючої програми мікроконтролера лінійного сповіщувача полум'я

Робота програмованого мікроконтролера можлива тільки при наявності в ньому керуючої програми, робота якої заснована на певному алгоритмі, розробку якого проводить розроблювач програмного забезпечення для МК.

Алгоритм роботи ЛСП запрограмований в МК повинен реалізувати такі функції сповіщувача:

- постійне зондування ЧЕ;
- вивід на екран станів ЧЕ й відстані до пожежі або пошкодження ЧЕ;
- проведення верифікації при виявленні пожежі;
- у випадку позитивної верифікації включення БВСТ і ИУСПА.

Керуюча програма складається з тіла основної програми й трьох тіл переривань (рис. 4.5). При першому запуску пристрою або його скиданні на низькому рівні відбувається ініціалізація пристроїв усередині мікроконтролера. У результаті чого настроюються й запускаються порти вводу-виводу, два таймери,

два порти в режимі переривання по наростанню фронту імпульсу, і паралельний інтерфейс FSMC для обміну даними з LCD екраном. Перший таймер (T1) настраюється на прямий відлік починаючи з нуля й формує переривання при збігу значення рахункового регістру таймера зі значенням у порівняльному регістрі таймера. Значення регістра, що порівнює, задається в налаштуваннях і залежить від довжини ЧЕ й повинно за часом бути не менше подвійного часу руху імпульсу до протилежного кінця ЧЕ. Другий таймер (T2) настраюється в режим прямого відліку, починаючи з нуля без переривань. Значення в його відліковому регістрі використовуються при спрацьовуванні порогових елементів. На підставі отриманих значень таймера виконується розрахунок відстані до місця виникнення пожежі або ушкодження ЧЕ. Настроюються два порти, до яких підключені граничні елементи ПЕ1 і ПЕ2 на формування переривання по фронту імпульсу. У результаті обриву відбувається повне позитивне відбиття ЗІ, у результаті пожежі відбувається часткове негативне відбиття ЗІ, коефіцієнт якого не перевищує 0,1, при короткому замиканні ЧЕ відбувається повне негативне відбиття ЗІ. Тому ПЕ1 налаштований на виявлення обриву й формує переривання, ПЕ2 налаштований на виявлення пожежі й формує переривання, ПЕ3 налаштований на виявлення короткого замикання й не формує переривання. Перевірка на коротке замикання провадиться усередині оброблювача переривання ПЕ2, при цьому перевіряється наявність високого рівня на ПЕ3.

Оскільки T1 і ПЕ1, ПЕ2 формують переривання, з'являється необхідність в оброблювачі переривань. Для T1 оброблювач із появою переривання від T1 установлює вимпел T1, що доступний для читання й запису в основній програмі. Для ПЕ1 оброблювач переривання зчитує значення рахункового регістра T2, заносить його за адресою змінної лічильник спрацьовування ПЕ1 і додає до лічильника одиницю. Для ПЕ2 оброблювач перевіряє на наявність високого рівня на ПЕ3, на підставі чого виконує дії аналогічні для оброблювача переривань ПЕ1, тільки використовуються змінні лічильника спрацьовування ПЕ2 або лічильник

спрацьовування ПЕ2,3 і адреси масивів, відведених для записів значень рахункового регістра Т2, які для ПЕ1, ПЕ2, і ПЕ2,3 відрізняються.

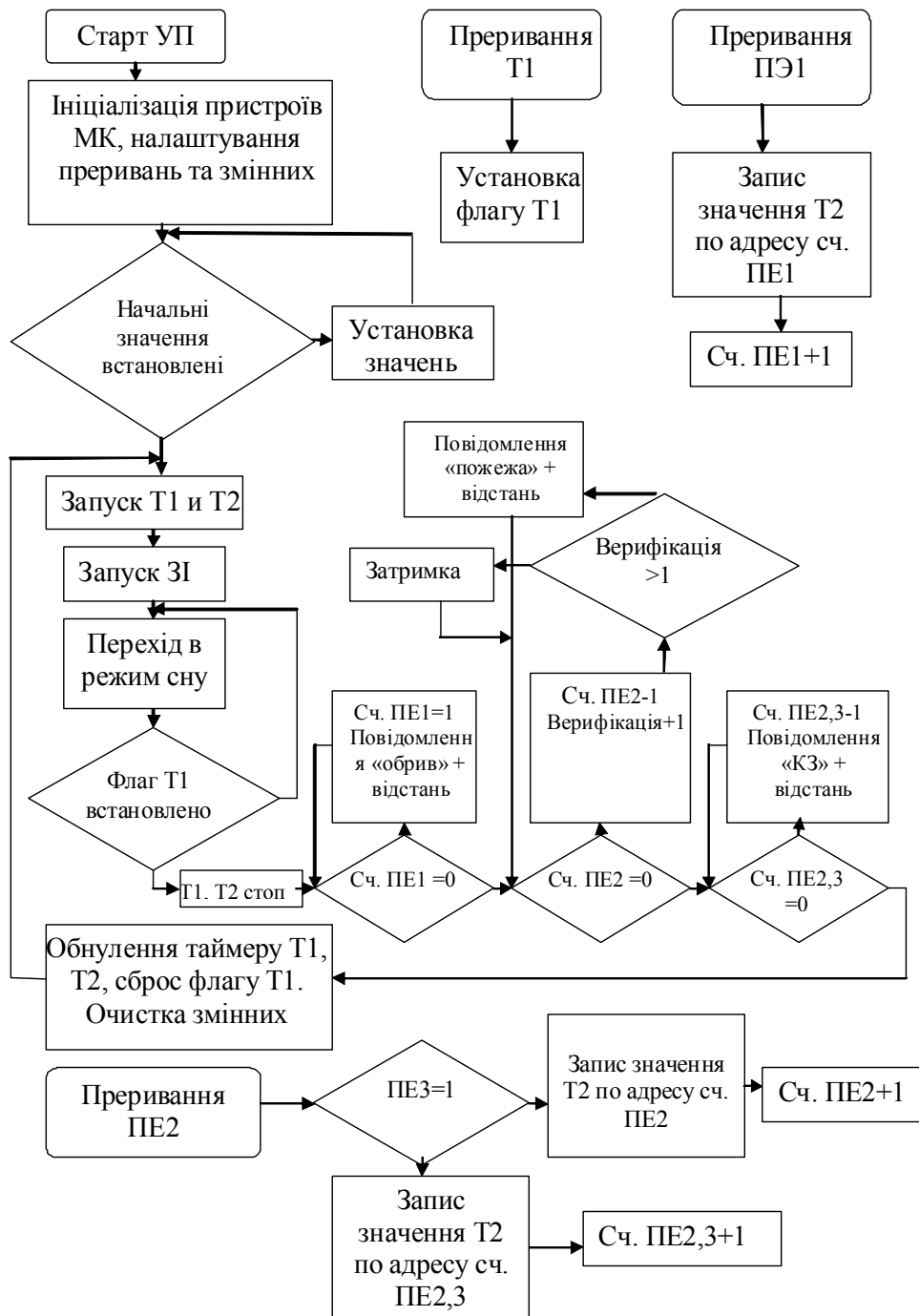


Рисунок 4.5 – Блок-схема алгоритму роботи управляючої програми мікроконтролера STM32: УП – управляюча програма, Т1 и Т2 –таймери, ПЕ – порогові елементи, сч. ПЕ – счетчики спрацьовування ПЕ.

Після ініціалізації програма перевіряє наявність раніше записаних користувачем даних в енергонезалежну пам'ять. Якщо вони не встановлені відбувається перехід до ручного уведення цих даних, до них відноситься довжина ЧЕ, тривалість ЗІ й т.п. Після чого програма виконується далі. Відбувається установка значення регістра, що порівнює, Т1 і запуск Т1 і Т2. Далі відбувається запуск ЗІ. Після чого МК переходить у режим сну, з якого виходить тільки з появою переривання, після чого перевіряє спрацьовування переривання Т1, якщо ні, те знову «засипає». Таке рішення обумовлене тим, що для виходу з режиму сну й переходу до оброблювача переривань використовується фіксована кількість тактів центрального процесора (ЦП). При тому, що Т2 продовжує свою роботу існує можливість внести корекцію на зчитані з них значення на кількість тактів, що пройшло з моменту появи на вході порту наростаючого фронту до моменту зчитування значення з рахункового регістра. У результаті точність визначення відстані до пожежі або ушкодження ЧЕ зростає й визначається частотою МК. При часі затримки поширення ЗІ по ЧЕ 5 нс/м і частотою ЦП МК і Т2 72 МГц, що становить 13,88 нс погрішність визначення відстані буде не більше 3 м.

З появою переривання від Т1 відбувається зупинка Т1 і Т2, після чого відбувається перевірка лічильників спрацьовування ПЕ1, ПЕ2 і ПЕ2,3, якщо вони всі рівні 0 відбувається обнуління рахункових регістрів таймера й установка в початкове значення потрібних змінних, після чого цикл повторюється з моменту запуску Т1 і Т2. Першим перевіряється лічильник спрацьовування ПЕ1, якщо він не дорівнює нулю відбувається зчитування значення Т1 з масиву ПЕ1, після чого лічильник ПЕ1 зменшується на 1, далі відбувається перетворення значення відповідного регістра у відстань і виводиться повідомлення про обрив ЧЕ з виводом відстані до обриву. Після йде перевірка лічильника ПЕ2, якщо не дорівнює 0, відбувається зчитування з масиву значення Т2, і зменшення лічильника на 1, значення Т2 заноситься в структуру, у складі якої є змінна верифікації, після чого відбувається її перевірка на перевищення 1, в іншому

випадку відбувається затримка й повернення до перевірки лічильника ПЕ2 на 0. Якщо лічильник верифікації по будь-якій відстані перевищує 1 відбувається вивід тривожного повідомлення про пожежу й відстані до осередку. Далі перевіряється на нуль лічильник спрацьовування ПЕ2,3, працює аналогічно перевірці лічильника спрацьовування ПЕ1, відрізняється виведеним повідомленням про обрив і відстань до місця пошкодження. Лічильники спрацьовування ПЕ1, ПЕ2, ПЕ2,3 використовуються як покажчики на масив. Це необхідно для можливості визначення декількох подій на різних відстанях ЧЕ, такі як кілька пожеж, кілька часткових обривів або коротких замикань по чутливому елементі, а також для можливості виключення незначно ушкоджених ділянок ЧЕ, щоб не відбувався вивід повідомлення на рахунок конкретної ділянки.

Вихідний код керуючої програми наведений у додатку Б.

4.4 Рекомендації по розміщенню пожежного сповіщувача.

Для ефективного виявлення полум'я лінійним сповіщувачем полум'я необхідно розробити рекомендації щодо його застосування.

Експериментально встановлено, що кріплення сповіщувача має відбуватися за допомогою немагнітних матеріалів, при цьому, не допускаючи пошкодження ізоляції і струмоведучих жил, так як це призведе до появи додаткових відображень. Враховуючи те, що в будівельних конструкціях зустрічається арматура, чутливий елемент необхідно розташовувати на відстані не менше 100 мм від конструкції.

Встановлено, що рівень шумів в ЧЕ не перевищує 20 мВ. Розташовувати таким чином, щоб при появі пожежі отримати амплітуду відображення не нижче 20 мВ (у разі вимірювання за допомогою порогового елемента). Таким чином з урахуванням отриманих експериментальних моделей існує можливість визначити межі чутливості ЧЕ для стандартних осередків пожежі .

Межі чутливості незначно змінюються залежно від виду горючої речовини, що використовується в тестових осередках. Тому розташування чутливого елемента повинно забезпечувати деяке перекриття.

Для приміщень, в яких ЧЕ встановлений на висоті $1,7 \div 2,6$ м ширина зони чутливості становить 3 м. При установці ЧЕ нижче 1,7 м ширина зони чутливості зменшується і може бути представлена лінійно і розраховується за формулою:

$$A = 2 \cdot H \cdot 0,83 = 1,66H ,$$

де A – ширина зони чутливості, H – висота установки ЧЕ.

ЧЕ може бути розташований (рис. 4.6) уздовж об'єкту захисту, якщо ширина приміщення не перевищує $1,66$ його висоти при установці ЧЕ на висоті менше $1,7$ м. При установці ЧЕ на висоті $1,7 \div 2,6$ м ширина приміщення не повинна перевищувати 3 м. Якщо ширина зони чутливості менше ширини приміщення, то установка ЧЕ здійснюється в декілька рядів (рис. 4.7). Зигзагоподібне розміщення ЧЕ може бути як поздовжнім так і поперечним на розсуд розробника. Відстань до стіни повинна бути не більше половини ширини зони чутливості ЧЕ.

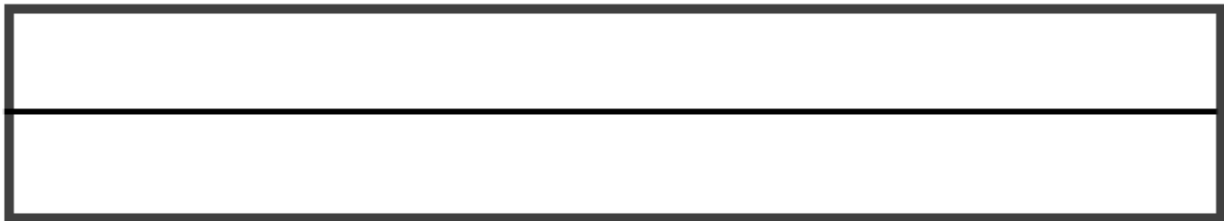


Рисунок 4.6 – Розташування ЧЕ ЛСП в приміщенні ширина якого менше зони чутливості.

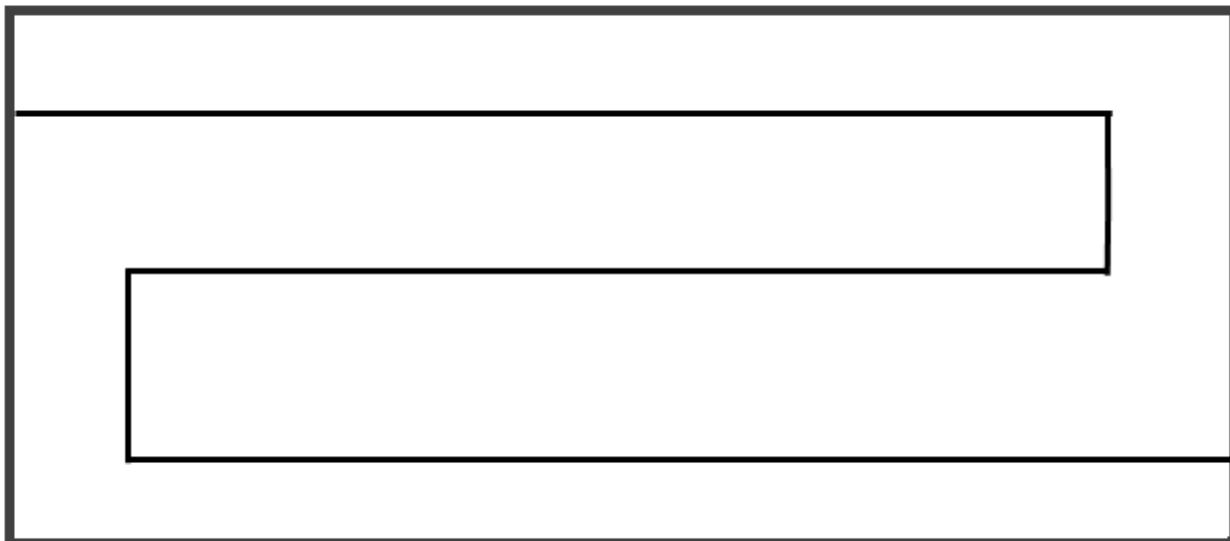


Рисунок 4.7 – Розташування ЧЕ ЛСП у приміщенні з шириною більшою за зону чутливості

ВИСНОВКИ

Аналіз принципів побудови пожежних сповіщувачів полум'я та промислових пристроїв, що служать для контролю полум'я в технологічних процесах, показав, що явище хімічної іонізації використовується тільки в технологічній автоматичній, в пожежній автоматичній ефект хемоіонізації не використовується. Тому доцільно провести теоретичні і практичні дослідження, щоб з'ясувати можливість побудови пристрою з використанням цього ефекту для раннього виявлення відкритого полум'я осередку пожежі.

Визначена фізика процесу хімічної іонізації полум'я. Виявлено, що полум'я за своєю структурою має розподіл на зони, в яких відбувається розподіл заряджених часток. Позитивні іони здебільшого розташовуються по фронту полум'я, електрони зосереджуються у підготовчій зоні полум'я. Завдяки потужним конвективним потокам, іони, що не прореагували, поширюються у просторі, концентрація їх змінюється з протилежною пропорційністю відносно віддаленості від осередку. У ході досліджень виявлено, що «корисна» концентрація, яка може створити достатній струм іонізації на чутливому елементі спостерігаються на відстані до 1 м над осередком, довжина чутливого елемента не повинна перевищувати 5 м. Ці обмеження ускладнюють використання пасивного способу викриття відкритого полум'я. Для зменшення інерційності та підвищення чутливості було запропоновано чутливий елемент з проводу марки ТРП 2x0,4 по якому запускається зондувальний імпульс. Використання зондувального імпульсу у якості контрольованого параметра підвищує чутливість та значно зменшує інерційність спрацювання.

Завдяки узгоджувальним опорам на кінцях чутливого елемента, шуми, що наводяться в ньому, мають малу амплітуду, якою можна знехтувати. Коефіцієнт загасання зменшує амплітуду зондувального і відбитого імпульсу, що призведе до помилки при визначенні станів чутливого елемента. Тому слід враховувати

відстань, на якому відбулося відображення, на підставі чого підраховувати фактичний коефіцієнт відбиття.

Дослідження показали, що при амплітуді зондувального імпульсу 5 В і фактичному коефіцієнті відбиття - 0,05 амплітуда відбитого сигналу на ЧЕ довжиною 1 км становить - 0,03 В, що перевищує амплітуду шуму, що наводиться в навколишньому середовищі.

На основі проведених експериментальних досліджень характеристик чутливого елемента було побудовано регресійні моделі, які відображують вплив факторів на відображений корисний сигнал, визначені максимальні і мінімальні значення напруги корисного сигналу, визначено, найбільш впливовим факторами є площа осередку пожежі та відстань до нього.

Запропонована структурна та принципова електрична схема лінійного сповіщувача полум'я. Описано якісний та кількісний склад елементів ЛСП. Надані рекомендації по розміщенню чутливого елемента сповіщувача на об'єктах різного призначення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Системи пожежної сигналізації. Частина 1. Вступ (EN 54-1:1996, IDT): ДСТУ EN 54-1:2004. – [Чинний від 2004-07-01]. – (Національний стандарт України).
2. Терещнев В.В. Промышленные здания и сооружения. Серия «Противопожарная защита и тушение пожаров». Книга 2. / Терещнев В.В., Артемьев Н.С., Корольченко Д.А., Подгрушный А.В., Фомин В.И., Грачев В.А. - М.: Пожнаука, 2006. –412 с.
3. Ватин Н. И. Пожарные извещатели [Электронный ресурс]: метод. указ. по дисциплине "Инженерные системы зданий и сооружений" / Н. И. Ватин, С. Е. Епишин. – СПб., 2005. – Режим доступа: <ftp://ftp.unilib.neva.ru/dl/868.pdf>
4. Руководство по эксплуатации извещатель пожарный пламени ультрафиолетового диапазонов модели X5200 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.det-tronics.com/ProductCatalog/FlameDetection/Documents/95-3546-13.1-X5200.pdf>
5. Руководство по эксплуатации извещатель пожарный пламени инфракрасного диапазона модели X9800 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.det-tronics.com/ProductCatalog/FlameDetection/Documents/95-3554-11.1-X9800.pdf>
6. Системи пожежної сигналізації. Частина 10. Сповіщувачі пожежні полум'я точкові (EN 54-10:2002, IDT): ДСТУ EN 54-10:2004. – [Чинний від 2004-07-05]. – (Національний стандарт України).
7. Исследование рынка пожарных извещателей в РФ, 2011-2012 г.г., Прогноз до 2015 г. – М.:, 2012.
8. Авторское Свидетельство СССР №1302308 «Сигнализатор наличия пламени», G08B17 / 12, Бюл. №13, 1987

9. Патент України на корисну модель №85758 «Лінійний сповіщувач полум'я із застосуванням ефекту хемоіонізації» G08B17/12, Бюл. №22, 2013
С.М. Бондаренко, О.А. Дерев'янка, В.В. Калабанов

10. Бондаренко С.Н. Исследование чувствительного элемента линейного извещателя пламени / С.Н. Бондаренко, В.В. Калабанов // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. – Вып. 35. – С. 39-44.

11. Зельдович Я.Б. Турбулентное и гетерогенное горение. / Зельдович Я.Б., Франк-Каменецкий Д. А. – М.: Моск. мех. ин-т, 1947. – 251 с

12. Суворов Д.В. Механизмы воздействия электромагнитной энергии на пламя / Д.В. Суворов, М.А. Кочева // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 182-184

13. Calcote H.F. // VIII Symp. (Int.) on Combustion. Baltimore: Williams and Wilkins, 1962. P.184

14. Fialkov A.B. Investigations on ions in flames (англ.) // Progress in Energy and Combustion Science. - Elsevier, 1997. - Vol. 23. - № 5-6. - P. 399-528.

15. Семенов Е.С. Исследование ионизации в пламенах методом зондовых характеристик / Е.С. Семенов, А.С. Соколик // Журнал технической физики. Том XXXII, №9, 1962, С. 1074 – 1083

16. Соколик А.С. Самовоспламенение пламени и детонация в газах. / Соколик А.С. – М.: Изд. АН СССР, 1960. – 429 с.

17. Проскудин В.Ф. Цепно-тепловой взрыв и степень ионизации водородовоздушного пламени / В.Ф. Проскудин, П.Г. Бережко, Е.Н. Беляев, В.Н. Тараканов, П.Е. Половинкин, А.Г. Лещинская // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology ISJAEЕ №2(10) 2004. С. 21 – 27.

18. Камынина О.К. Процесс ионообразования в волне горения / О.К. Камынина, Н.И. Кидин, В.А. Кудряшов, А.С. Рогачев, Л.М. Умаров // Физика горения и взрыва, т. 38 №4, 2002. С 77 – 79.

19. Старик А.М. Кинетика образования ионов при объемной реакции метана с воздухом / А.М. Старик, Н.С. Титова // Физика горения и взрыва, т. 38, №3,

2002. С. 3 – 19.

20. Ковалёв Н.Ф. Электрический ток // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А. М. Прохоров / Ковалёв Н.Ф., Миллер М.А. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1998. – 760 с.

21. Чеботарев В.И. Волновые процессы в длинных линиях: Учебное пособие для самостоятельной работы студентов физических специальностей / Чеботарев В.И. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2008. – 117 с.

22. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи / Бакланов И.Г.– М.: Изд-во «Эко-Трендз», 1999, 195 с.

23. Бондаренко С.Н. Модель чувствительного элемента активного линейного извещателя пламени / С.Н. Бондаренко, В.В. Калабанов, В.А. Пулавский // Проблемы пожарной безопасности. – 2014. - Вып. 36. - С. 39-45.

24. Бондаренко С.Н. Факторы, влияющие на выходной сигнал линейного чувствительного элемента линейного извещателя пламени в режиме зондирования / С.Н. Бондаренко, В.В. Калабанов, С.Г. Алферов // Проблемы пожарной безопасности. – 2015. – вып.38. – С.19-23.

25. Бондаренко С.Н. Экспериментальное исследование чувствительного элемента линейного извещателя пламени в режиме обнаружения пожара / С.Н. Бондаренко, В.В. Христинич, В.В. Калабанов // Проблемы пожарной безопасности. – 2016. - Вып. 39. - С. 39-43.

26. Егоров А.Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента Под ред. В.Г. Воронова. / Егоров А.Е., Азаров Г.Н., Коваль А.В. –Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1986. –240 с.

27. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / Винарский М.С., Лурье М.В. – М.: Техника, 1975. – 168с.

28. Белов А.В. Самоучитель разработчика устройств на микроконтроллерах семейства AVR / Белов А.В. – СПб.: Наука и Техника, 2008. – 544с.

29. Nyquist H. Certain topics in telegraph transmission theory, Trans. AIEE, vol. 47, pp. 617—644, Apr. 1928

ДОДАТКИ

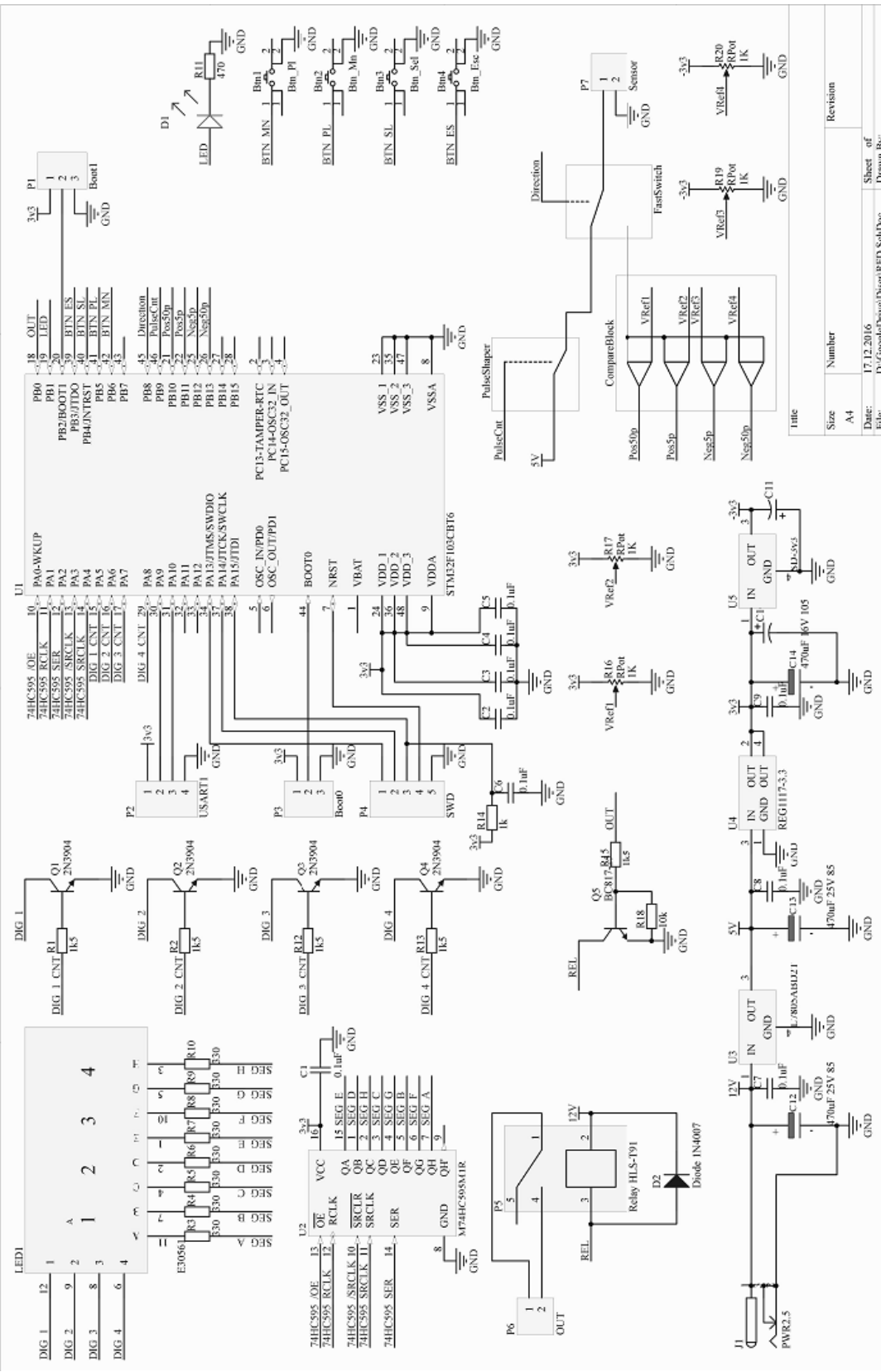


Рисунок 4.4 – Електрична принципова схема ЛСП.

Лістинг управляючої програми для мікроконтролера STM32.

```

#include "Pulse.cpp"
#include "stm32f10x_conf.h"
#include "stdbool.h"
#include "lcd.h"
#include "misc.h"
#include "main.h"
#include "font.c"
#include <string.h>
#include "stdlib.h"
#include "Key.h"
#include "stm32f10x_adc.h"
#include <math.h>
#include "USART.h"

bool bT1Cmp=0,bStartData;
uint8_t cPE1=0, cPE2=0, cPE23=0, cVer=0, cStrPointer=0;
uint16_t aPE1 [3], aPE2 [3], aPE23 [3], iDistance=0, iCursPozX=0,
iCursPozY=0;

struct DistVer {
uint16_t iDist;
uint8_t cVerif;
}sDistVerif [20];

struct CursPoz {
uint16_t iXPoz;
uint8_t cYPoz;
}sCursPoz;

void EXTI2_IRQHandler(void){ //Обработчик ПЭ1
    if (EXTI_GetITStatus(EXTI_Line2) != RESET){
        aPE1[cPE1]=GetT1Reg();
        cPE1++;
        EXTI_ClearITPendingBit(EXTI_Line2);
    }
}

void EXTI3_IRQHandler(void){ //Обработчик ПЭ2

```

```

        if (EXTI_GetITStatus(EXTI_Line3) != RESET){
        if (GetPE3==1){
            aPE23[cPE23]=GetT1Reg();
            cPE23++;
        }
        else{
            aPE2[cPE2]=GetT1Reg();
            cPE2++;
        }
            EXTI_ClearITPendingBit(EXTI_Line3);
        }
    }

void TIM1_IRQHandler (void){ //Обработчик T1
    if (TIM_GetITStatus(TIM1, TIM_IT_CC1) != RESET){
        bT1Cmp=1;
        TIM_ClearITPendingBit(TIM1, TIM_IT_CC1);
    }
}

int main(void){
    SystemInit();
    LCDInitHardware();
    LCDWrt ();
    LCDOn();
    Pulse_init ();
    USART_Run ();
    Key_Init();
    ReflInit();
    LCDClear(White);
    if (bStartData==0){PutStartData();}
    SetStartData();
    for (uint8_t a=0; a<20;a++){ //Очищаем структуру пожаров
        sDistVerif.iDist[a]=0;
        sDistVerif.cVerif[a]=0;
    }
    while(1){
        if (GPIO_ReadInputDataBit( GPIO_MenuBtnPort, GPIO_MenuBtnPin)==0){
            PutStartData();
        }
        RunT1();
        RunT2();
        Pulse ();
    }
}

```

```

while(bT1Cmp==0){
    __ASM("sleep");
}
StopT1();
StopT2();
while (cPE1!=0){
    cPE1--;
    iDistance=TimToDistance(aPE1[cPE1]);
    sCursPoz.iXpoz=LCD_PutStreng ("ОБРЫВ, расстояние", 0,
sCursPoz.cYpoz, Red, White);
    sCursPoz.iXpoz=LCD_PutInt (iDistance, sCursPoz.iXpoz,
sCursPoz.cYpoz, Red, White);
    sCursPoz.iXpoz=LCD_PutStreng (" м ", sCursPoz.iXpoz,
sCursPoz.cYpoz, Red, White);
    sCursPoz.cYpoz+=16;
    if (sCursPoz.cYpoz<=240){sCursPoz.cYpoz=0;}
}
while (cPE2!=0){
    cPE2--;
    iDistance=TimToDistance(aPE2[cPE2]);
    for (uint8_t a=0; a<cStrPointer;a++){
        if (sDistVerif.iDist[a]==iDistance){sDistVerif.cVerif[a]++;
            iDistance=0;
        }
    }
    if (iDistance!=0){sDistVerif.iDist[cStrPointer]==iDistance;
        sDistVerif.cVerif[cStrPointer]++;
        cStrPointer++;
        VerifDelay();
    }
    for (uint8_t a=0; a<cStrPointer;a++){
        if (sDistVerif.cVerif[a]>1){
            sCursPoz.iXpoz=LCD_PutStreng ("ПОЖАР, расстояние", 0,
sCursPoz.cYpoz,Red,Blue);
            sCursPoz.iXpoz=LCD_PutInt (sDistVerif.iDist[a],
sCursPoz.iXpoz, sCursPoz.cYpoz, Red, Blue);
            sCursPoz.iXpoz=LCD_PutStreng (" м ", sCursPoz.iXpoz,
sCursPoz.cYpoz, Red, White);
            sCursPoz.cYpoz+=16;
            if (sCursPoz.cYpoz<=240){sCursPoz.cYpoz=0;}
            Sound(ON);
            RunAU( );
        }
    }
}

```

```

    }
}
while (cPE23!=0){
    cPE23--;
    iDistance=TimToDistance(aPE23[cPE23]);
    sCursPoz.iXpoz=LCD_PutStreng ("К3, расстояние", 0, sCursPoz.cYpoz,
Red, White);
    sCursPoz.iXpoz=LCD_PutInt      (iDistance,      sCursPoz.iXpoz,
sCursPoz.cYpoz, Red, White);
    sCursPoz.iXpoz=LCD_PutStreng (" м          ", sCursPoz.iXpoz,
sCursPoz.cYpoz, Red, White);
    sCursPoz.cYpoz+=16;
    if (sCursPoz.cYpoz<=240){sCursPoz.cYpoz=0;}
}
ClrT1();
ClrT2();
ClrVar();
}
}

```