МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

V-ї МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ТРАНСПОРТ: НАУКА ТА ПРАКТИКА»

21-22 травня 2026 р.



Україна, Київ – Одеса

УДК 629.4

Бондаренко В.В., к.т.н., доц., Черняєв Р.І., студент,
Цидибрага Г.К., студент, Водоп'ян О.В., студент
Український державний університет залізничного транспорту, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА

Анотація. *У роботі розглянуто проблему підвищення пожежної безпеки пасажирських вагонів шляхом удосконалення системи автоматичної пожежної сигналізації. Проаналізовано обмеження існуючих систем, що базуються на контролі двох параметрів - температури та задимленості, та запропоновано додаткове використання багатопараметричних сенсорів контролю якості повітря (VOC, CO_2). Розроблено алгоритм функціонування системи, що забезпечує підвищення ефективності раннього виявлення пожежної небезпеки та зменшення кількості хибних спрацювань.*

Проблематика. Проблема забезпечення пожежної безпеки на залізничному транспорті набуває особливої актуальності в умовах воєнного стану, зростання обсягів перевезень та підвищення вимог до безпеки руху поїздів. Пожежі у пасажирських вагонах становлять підвищену небезпеку через замкнений простір, високу щільність перебування пасажирів, наявність горючих матеріалів, прокладену електричну проводку під обшивкою та наявність різного електрообладнання, що сприяє швидкому займанню та поширенню продуктів горіння у вагоні. Аналіз статистичних даних міжнародних організацій свідчить про тенденцію до зростання кількості пожежних інцидентів на залізничному транспорті, що призводить до значних матеріальних збитків та створює загрозу життю і здоров'ю пасажирів [1]. Основними причинами виникнення пожеж є зношеність електрообладнання, використання застарілих систем пожежної сигналізації, недосконаліть засобів раннього виявлення пожеж та людський

фактор. Існуючі вітчизняні пасажирські вагони переважно оснащуються приладами приймально-контрольними пожежними (ППКП) («ПРОМЕТЕЙ-05», «ПРОМЕТЕЙ-07») [2]. Вони працюють спільно з комбінованими пожежними сповіщувачами «АГАТ», призначеними для визначення місця виникнення пожежі у вагоні. Датчики сповіщувачів працюють за двома контрольними параметрами: дим і температура. Однак датчики не дозволяють виявляти небезпечні зміни газового складу повітря на ранніх стадіях виникнення пожежі, що знижує ефективність системи та може призводити до запізнілого реагування системи контролю.

Основні матеріали дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності системи раннього виявлення пожежної небезпеки у пасажирських вагонах шляхом удосконалення автоматичної пожежної сигналізації на основі інтеграції багатофункціональних сенсорів контролю якості повітря (VOC, CO_2), які забезпечують багатопараметричний аналіз повітряного середовища та своєчасне виявлення пожежонебезпечних процесів.

Наукова новизна полягає у розширенні функціональних можливостей традиційної системи автоматичної пожежної сигналізації за рахунок використання багатопараметричного контролю якості повітря у пасажирському вагоні.

У роботі проведено аналіз сучасних технічних рішень у сфері пожежної безпеки пасажирських вагонів. Встановлено, що традиційні системи на базі приладів (ППКП) («ПРОМЕТЕЙ-05», «ПРОМЕТЕЙ-07») у поєднанні з датчиками «АГАТ» не повною мірою забезпечують достатній рівень раннього виявлення пожежонебезпечних процесів, оскільки орієнтовані лише на контроль двох параметрів - температури та задимленості.

Запропоновано удосконалення системи автоматичної пожежної сигналізації шляхом інтеграції додаткових сенсорів контролю якості повітря. До складу системи входять:

- датчики температури та диму (традиційні);

- датчик концентрації летких органічних сполук (VOC) та вуглекислого газу (CO_2) (додатково);

- модуль обробки сигналів;

- виконавчі пристрої (сигналізація, примусова вентиляція).

Сигаретний дим, як один із факторів ризику у пасажирських вагонах, є складною багатокомпонентною сумішшю, що містить леткі органічні сполуки, аерозольні частинки та газові домішки. Найбільш чутливим індикатором його наявності є VOC, концентрація яких зростає на ранніх стадіях процесу. Використання сенсорів VOC дозволяє ефективно виявляти появу тютюнового диму навіть за відсутності значного задимлення.

Як сенсор контролю якості повітря запропоновано використання газового датчика типу CCS811 (рис.1), принцип роботи якого базується на зміні опору напівпровідникового елемента (MOX) залежно від концентрації летких органічних сполук у повітрі. Датчик забезпечує вимірювання концентрації летких органічних сполук (VOC) та оцінку еквівалентної концентрації вуглекислого газу (eCO_2) у широкому діапазоні значень, має низьке енергоспоживання та може бути інтегрований у бортову систему вагона.

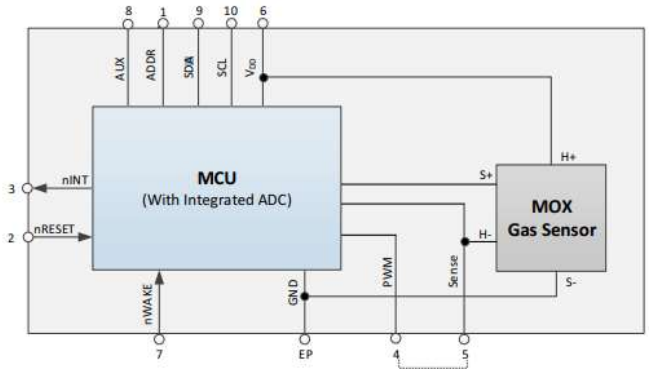


Рисунок 1 – Внутрішня схема датчика CCS811 для контролю якості повітря у пасажирському вагоні

Алгоритм функціонування системи базується на багатопараметричному аналізі стану повітряного середовища та включає:

- безперервний збір даних із сенсорів;
- порівняння отриманих значень із пороговими;
- аналіз комбінацій параметрів;
- формування сигналу про небезпечний стан;
- активацію виконавчих пристроїв (вентиляції, сигналізації).

У разі виявлення підвищених концентрацій продуктів горіння або інших небезпечних змін у повітрі система забезпечує автоматичне включення сигналу тривоги у службовому купе провідника та примусової вентиляції при небезпечній концентрації CO_2.

Для оцінки пожежонебезпечного стану вагона доцільно використовувати порогово-логічний принцип контролю параметрів повітряного середовища. Кожен параметр порівнюється з відповідним граничним значенням:

$$A = \begin{cases} 1, & C_{VOC} \geq C_{VOC}^{max} \vee C_{CO_2} \geq C_{CO_2}^{max} \vee T \geq T^{max} \vee S \geq S^{max} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (1)$$

де A - сигнал пожежонебезпечного стану (0 - відсутній, 1 - наявний);

C_{VOC} - концентрація летких органічних сполук (англ. Volatile Organic Compounds, VOC) у повітрі вагона, зокрема продуктів тління матеріалів, сигаретного диму та інших органічних домішок;

C_{CO_2} - концентрація вуглекислого газу у повітрі вагона, ppm;

T - температура повітря у вагоні, °C;

S - рівень задимленості повітря (оптична щільність диму);

C_{VOC}^{max}, $C_{CO_2}^{max}$, T^{max}, S^{max} - граничні значення відповідних параметрів, при перевищенні яких формується сигнал небезпеки.

Концентрація CO_2 використовується як додатковий показник стану повітряного середовища та ефективності роботи системи вентиляції.

Застосування багатофункціональних сенсорів дозволяє підвищити чутливість системи та забезпечити більш раннє виявлення пожежонебезпечних

процесів порівняно з традиційними системами. За результатами досліджень, використання багатопараметричних сенсорів дозволяє підвищити ефективність систем раннього виявлення пожеж на 35–40 %. Економічний ефект від впровадження запропонованої системи полягає у зниженні ризику виникнення пожеж та скороченні матеріальних збитків. За оцінками, модернізація систем пожежної сигналізації дозволяє зменшити економічні втрати на 25–30 % [1].

Таким чином, запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення ефективності систем раннього виявлення пожеж у рухомому складі залізниць та сприяють підвищенню рівня безпеки пасажирських перевезень.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що існуючі системи автоматичної пожежної сигналізації пасажирських вагонів мають обмежені можливості щодо раннього виявлення пожежної небезпеки. Запропоновано удосконалену систему пожежної сигналізації на основі інтеграції багатофункціональних сенсорів контролю складу повітря, що забезпечує підвищення чутливості системи та своєчасне виявлення пожежонебезпечних процесів. Доведено, що використання сенсорів VOC та CO_2 дозволяє здійснювати більш ефективний контроль стану повітряного середовища пасажирського вагона та виявляти небезпечні зміни на початкових стадіях.

Список використаних джерел

1. Лапін П. В. Забезпечення економічної безпеки підприємств залізничного транспорту на основі управління пожежними ризиками: автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04. Дніпро, 2019. 20 с.

2. Мартинов І. Е., Бондаренко В. В., Ловська А. О. Забезпечення пожежної безпеки у вагонах пасажирських поїздів : навч. посіб. - Харків : УкрДУЗТ, 2022. - 119 с.

e-mail авторів: bonvya@ukr.net

Kyrychenko K. STRESS REACTIONS AND SHIPPING SAFETY: FEATURES OF DECISION-MAKING BY CADET SAILORS 248
Fomin O.V., Burlutskyi O.V., Klymash A.O. ANALYSIS OF TRENDS IN THE EVOLUTION OF GOODS VEHICLES BASED ON TIME-SERIES FORECASTING OF PATENT DATA 251
Бондаренко В.В., Черняєв Р.І., Цидибрага Г.К., Водоп'ян О.В. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА 255
Візняк Р.І. РОЗРАХУНОК МІЦНОСТІ ПІВВАГОНА НОВОГО ПОКОЛІННЯ З ГЛУХИМ КУЗОВОМ, ПРИ РОЗВАНТАЖЕННІ НА СТАЦІОНАРНОМУ РОТОРНОМУ ВАГОНОПЕРЕКИДАЧІ 260
Віценюк Ю.В., Лабуда М.Р., Фалендиш А.П. ОЦІНКА ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОЗА М62 ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЯМИ CAT АБО EMD 263
Воробйов О.В., Ігнатов Д.В. РАЦІОНАЛЬНІ СПОСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС ПРИ НАДНОРМАТИВНОМУ ЗНОСІ ГРЕБЕНЯ 267
Дьомін Р.Ю., Дьомін Ю.В. ВАРІАНТ УНІФІКОВАНОГО ПРОФІЛЮ ПОВЕРХОНЬ КОЧЕННЯ КОЛІС РОЗСУВНИХ КОЛІСНИХ ПАР РІЗНИХ СИСТЕМ 272
Каграманян А.О., Аракелян Т.А. КЛЮЧОВІ АСПЕКТИ СУЧАСНОГО СТАНУ ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ СПИРАННЯ КОТЛІВ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН 276
Кічкіна О.І., Філіпова В.Ю. РОЗВИТОК МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ В ОДЕСІ: ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕСТАБІЛЬНОСТІ 281
Ковальчук Р.М., Климаш А.О., Ворох А.О., Зарайська Я.М. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ В ЯКОСТІ ПАЛИВА ДЛЯ АВТОМОБІЛІВ 286
Ковтанець М.В., Могила В.І., Бурейка Г., Плотніков В.Д. ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ РУХОМОГО СКЛАДУ 291