

*А.Ф. Гаврилюк, к.т.н., доц., А.П. Кушнір, к.т.н., доц., А.М. Домінік к.т.н., доц.*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОТВОРНИХ ПРОЯВІВ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ НА РОБОТУ ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА З ВИКОРИСТАННЯМ ДІАЛОГОВИХ СИСТЕМ**

Щорічно у світі виникає понад 1 млн пожеж автотранспортних засобів, що призводить до загибелі та травмування людей і значних матеріальних втрат. Обладнання автотранспортних засобів системами виявлення та гасіння пожежі дозволяє зменшити негативні наслідки. Ефективність системи виявлення пожежі буде залежати не лише від місця встановлення та типу пожежного сповіщувача, а також від правильного розробленого алгоритму його роботи. Для виявлення займання в моторному та багажному відсіках найбільше використовують теплові пожежні сповіщувачі. При виборі типу теплових сповіщувачів необхідно враховувати швидкість зміни температури навколишнього середовища і теплотворні прояви двигуна внутрішнього згорання. Проведено експериментальні дослідження з визначення температури у моторному відсіку при русі автомобіля в міських умовах та стоянці з використанням діалогових систем. В пакеті Simulink програмного середовища MATLAB розроблена модель алгоритму роботи теплового ПС із змінними параметрами спрацювання з врахуванням результатів експерименту.

**Вступ.** Кількість автомобілів у світі з кожним роком зростає. Це спричинено розширенням туристичних, торговельно-економічних зв'язків як у межах країни, так і між країнами, збільшенням потреб населення у легкових автомобілях, тощо. Очевидно, що такі тенденції призводять до збільшення чисельності автомобільного парку, а отже і супутніх проблематик, які вони створюють. Однією з таких проблематик є пожежна безпека автомобілів. Причини виникнення та особливості розвитку пожеж даного роду описано у низці наукових праць, зокрема у [1-3].

На величину наслідків від пожеж (загибель та травмування людей, розмір матеріальних збитків) впливає ефективність системи виявлення та гасіння пожежі. На підставі аналізу діючих в Україні нормативно-правових актів [4-6], встановлено, що протипожежний захист автомобілів забезпечується лише переносними вогнегасниками.

У роботах [7-9] встановлено, що системи виявлення та гасіння пожеж, які влаштовані у моторних відсіках автомобілів, здатні вагомо підвищити пожежну безпеку зазначених об'єктів та зменшити матеріальні збитки і людські жертви. В загальному випадку будь яка система виявлення та гасіння пожежі

автомобіля повинна складатись із пожежних сповіщувачів (ПС), блоку керування та модулів пожежогасіння. Ефективність системи виявлення пожежі буде залежати найперше від місця встановлення та типу ПС, а також від правильного розробленого алгоритму роботи ПС, який повинен безпомилково виявити джерело займання на ранній стадії розвитку. Однак забезпечити ефективну роботу ПС в складних температурних, конвективних та конструктивних умовах є непросто. Усі ці чинники впливають на ефективну роботу ПС, а отже і на час виявлення загорання.

**Аналіз досліджень.** Умови експлуатації автомобілів є складними і їх необхідно враховувати під час розробки алгоритму роботи ПС. У роботах [10, 11] автори ґрунтовно аналізують різні типи ПС, які можуть використовуватися на важких АТЗ. У більшості випадків для виявлення загорання використовують теплові ПС. Використання оптичних димових ПС не є ефективним, особливо в моторних відсіках, в багажних відділеннях автобусів. Вони більш придатні для застосування в чистих місцях за відсутності пилу, наприклад в салонах літаків, пасажирських вагонах поїздів. У роботі [12] проведено дослідження використання різних типів сповіщувачів у моторних відсіках транспортних засобів гірничої промисловості. На підставі проведених експериментів, визначено, що димові ПС ефективно визначають займання у моторному відсіку. Разом з тим більш ефективні є газові давачі, які здатні виявляти вуглеводні продуктів згорання.

**Формулювання цілі та виклад основного матеріалу.** Метою роботи є дослідження впливу теплотворних проявів двигуна автомобіля на роботу пожежного сповіщувача з використанням діалогових систем.

Перш ніж змодельовати алгоритм роботи теплового ПС дослідимо, як буде змінюватися температура в моторному відсіку внаслідок роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) при русі та зупинці автомобіля. Дослідження проводилися на двох легкових автомобілях: Renault Megan з дизельним двигуном К9К та Renault Megan з бензиновим двигуном М4R. Рух автомобілів відбувався в міському циклі. Для контролювання температури в моторному

відсіку використовували три термопари моделі TP-01A з діапазоном вимірювання від  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $204\text{ }^{\circ}\text{C}$  та цифрові мультиметри. Термопара №1 розміщувалася з боку ДВЗ зі сторони радіаторної решітки, термопара №2 – зверху по середині двигуна, термопара №3 – з боку ДВЗ зі сторони салона (випускного колектора) (рис. 2). Покази з термопар знімалися за допомогою плати Arduino з мікроконтролером Atmel ATmega328. Arduino – це відкрита програмова апаратна платформа, що використовується для розробки програмуючих електронних пристроїв орієнтованих на взаємодію з різними фізичними об'єктами. В програмному комплексі Arduino з використанням мови програмування C попередньо була написана програма.

Під час проведення експерименту температура повітря навколишнього середовища становила  $t_{\text{н.сєр}} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$  і погода була сонячна. Тому, температура в моторному відсіку в усіх точках була майже однакова  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Результати експериментальних досліджень наведені в табл. 1 (автомобіль з дизельним ДВЗ К9К) та табл. 2 (автомобіль з бензиновим ДВЗ М4R). Значення температури в моторному відсіку при русі та зупинці автомобіля наведені вже після встановлення так званої технологічної температури роботи ДВЗ. Максимальні значення швидкості наростання температури в моторному відсіку наведені під час роботи ДВЗ в початковий момент часу обчислені на короткому проміжку часу ( $10\div 20\text{ с}$ ).



Рис. 2. Місця розміщення трьох термопар в моторному відсіку

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень автомобіля з дизельним ДВЗ К9К.

№ термопари	Значення температури в моторному відсіку при русі автомобіля, °С	Значення температури в моторному відсіку при зупинці автомобіля, °С	Максимальні значення швидкості наростання температури в моторному відсіку, °С/хв
Термопара №1	58-71	50-55	15
Термопара №2	35-45	51-67	90
Термопара №3	59-73	102-120	255

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень автомобіля з бензиновим ДВЗ М4R.

№ термопари	Значення температури в моторному відсіку при русі автомобіля, °С	Значення температури в моторному відсіку при зупинці автомобіля, °С	Максимальні значення швидкості наростання температури в моторному відсіку, °С/хв
Термопара №1	53-81	49-72	30
Термопара №2	56-72	60-75	68
Термопара №3	62-84	76-95	290

Різні значення температур в моторному відсіку та швидкості її зміни в різних точках при русі та зупинці автомобіля можна пояснити впливом повітряних потоків та різних значень температур елементів ДВЗ. На значення температури в місці розміщення термопари №1 впливає потік від радіатора, у той же час, термопара №3 є більш захищена і знаходиться біля вихідного колектора.

З використанням інтерактивного інструменту Simulink 10.0, який призначений для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем (в тому

числі неперервних, гібридних та розривних систем) розроблена модель алгоритму роботи теплового ПС із змінними параметрами спрацювання. Інтерактивний інструмент Simulink є розробкою компанії The MathWorks, яка спеціалізується в області числових обчислень і комп'ютерного моделювання. Особливістю інструменту Simulink є те, що він повністю інтегрований з пакетом прикладних програм MATLAB, що дозволяє використовувати широкий спектр інструментів для аналізу. Ця перевага робить Simulink найпопулярнішим інструментом для проектування систем керування і комутації, цифрової обробки і інших додатків моделювання.

Вікно з розробленою моделлю в пакеті Simulink показано на рис. 3.

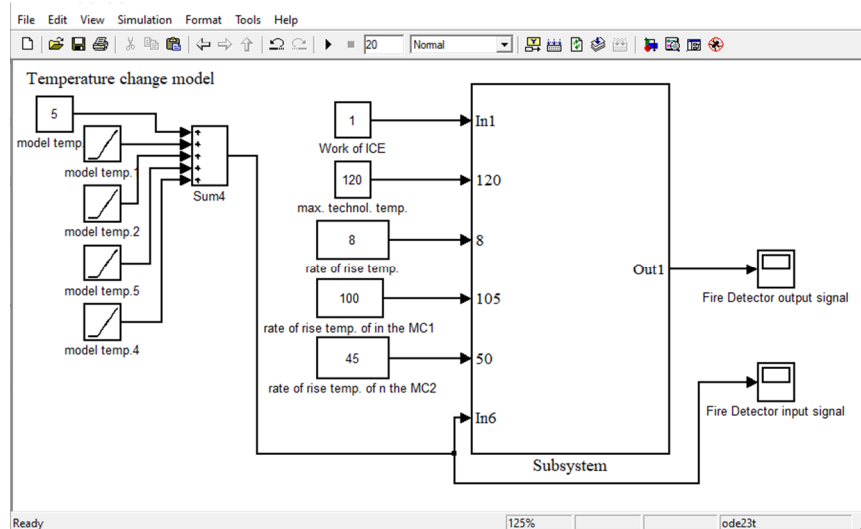


Рис. 3. Вікно пакету Simulink програмного середовища MATLAB з моделлю теплового ПС

Дослідимо, як буде реагувати ПС при різних випадках зміни температури в моторному відсіку та різних режимах роботи ДВЗ. Будемо моделювати зміну температури в найгірших випадках. Вважаємо, що ПС розміщений зверху по середині двигуна. Щоб не допустити хибного спрацювання ПС від впливу температури двигуна, прийmemo, що технологічна температура в моторному відсіку рівна 100 °С. Однак, як показують результати експериментальних досліджень, вона не перевищувала 65 °С для дизельного

ДВЗ, та  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  для бензинового ДВЗ. Максимальне значення швидкості збільшення температури в моторному відсіку в початковий момент часу приймемо  $100\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ , а після виходу на технологічну температуру –  $45\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ . Значення швидкості підвищення температури при якому ПС спрацьовує, коли ДВЗ не працює  $T'_{\text{спр}} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$  і коли ДВЗ працює  $T'_{\text{спр}} = T'_{\text{мак2}} + \Delta T' = 50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ .

Змоделюємо ситуацію, коли АТЗ припаркований на відкритому просторі із вимкнутим ДВЗ і температура в місці встановлення ПС в моторному відсіку рівна температурі навколишнього середовища  $T^{\circ}_{\text{сер}} = 14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Мінімальна статична температура спрацювання ПС  $T^{\circ}_{\text{спр}} = 54\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Результати моделювання показано на рис. 4. На рисунку прийнято такі позначення: крива 1 – температура в місці встановлення ПС (вхідний сигнал, який діє на ПС); крива 2 – швидкість підвищення температури  $T'$ ; крива 3 – вихідний сигнал ПС, який відповідає логічному “0” (ПС знаходиться в черговому режимі), логічній “1” (ПС знаходиться в режимі “Пожежа”). В момент часу  $t = 1\text{ хв}$  відбувається збільшення температури, внаслідок прямого попадання сонячних променів на капот до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зі швидкістю підвищення температури  $T'_{\text{сер}} = 2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ , яка є меншою від  $T'_{\text{спр}} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ . (рис. 4, б). В момент часу  $t = 6\text{ хв}$  відбувається різке збільшення температури зі швидкістю  $T'_{\text{сер}} = 400\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{хв}$  внаслідок пожежі. ПС перейде в режим “Пожежа”. ПС спрацьовує на динамічну складову (швидкість підвищення температури) (блок 11, умова  $T'_{\text{сер}} < T'_{\text{спр}}$  не виконується).

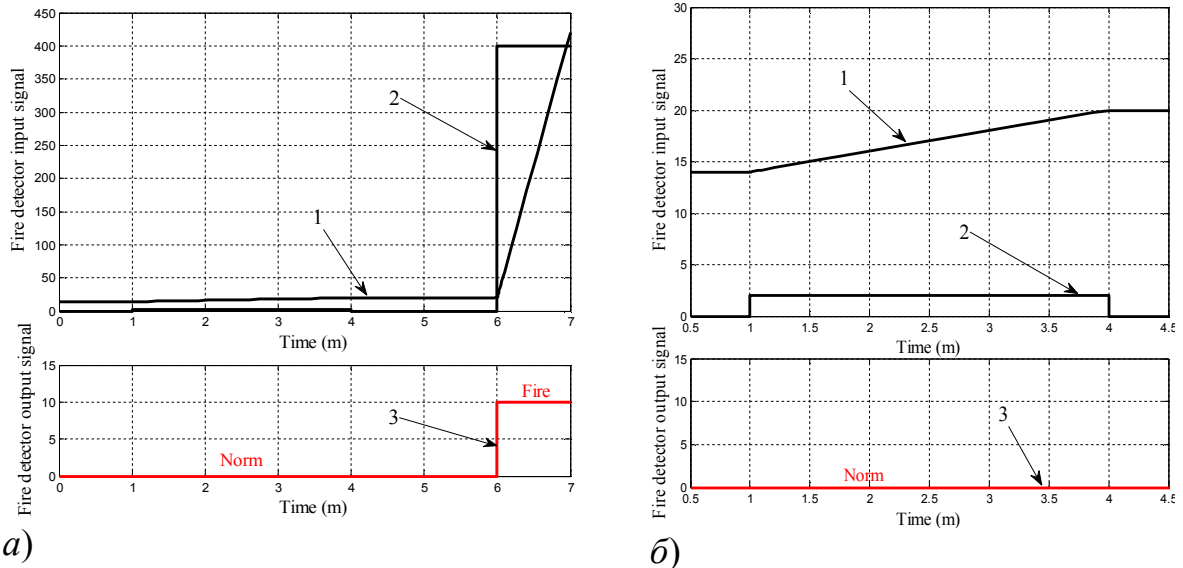


Рис. 4. Результати моделювання роботи ПС, коли температура змінюється внаслідок впливу кліматичних умов та пожежі: крива 1 – температура в місці встановлення ПС (°С); крива 2 – швидкість підвищення температури  $T'$  (°С/хв); крива 3 – вихідний сигнал ПС : *a* - результати моделювання роботи ПС на проміжку часу від 0 до 7 хв; *б* - результати моделювання роботи ПС на проміжку часу від 0,5 до 4,5 хв

**Висновки.** Шляхом експериментального дослідження, з допомогою програмного комплексу Arduino, встановлено, що максимальне значення температури у моторному відсіку автомобіля Renault Megan 3 з дизельним ДВЗ К9К під час руху лежить в межах 59-73 °С, а для автомобіля Renault Megan 3 з бензиновим двигуном М4R – 62-84 °С. Під час зупинки температура у підкопотному просторі зростає до 102-120 °С (для автомобіля з дизельним ДВЗ К9К) і до 76-95 °С (автомобіля Renault Megan 3 з бензиновим двигуном М4R). В пакеті Simulink програмного середовища MATLAB розроблена модель алгоритму роботи теплового ПС із змінними параметрами спрацювання та змодельовано його роботу. Результати наведено у вигляді графічних залежностей.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Гудим, В., Гаврилюк, А. (2013). Аналіз систем та агрегатів автотранспортних засобів за рівнем пожежної небезпеки. Пожежна безпека, 23, 58-63. <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB/article/view/495/488>

2. Office of Transport Safety Investigations. (2020). Bus safety investigation report - An investigation into bus fires in New South Wales 2020 [Press release]. [https://www.otsi.nsw.gov.au/sites/default/files/otsi\\_assets/documents/reports/Bus%20Fire%20Summary%202020.pdf](https://www.otsi.nsw.gov.au/sites/default/files/otsi_assets/documents/reports/Bus%20Fire%20Summary%202020.pdf)

3. Ahrens, M. (2012). Automobile Fires in the U.S.: 2006-2010 Estimates. Proceedings of FIVE –Fires In Vehicles, Chicago, USA, 95-105. <http://ri.diva-portal.org/smash/get/diva2:962701/FULLTEXT01.pdf>

4. ДСТУ 3649–2010 Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання [Чинний від 01.01.2011]. Вид. офіц. Київ : Технічний комітет стандартизації «Дорожній транспорт», 2010. 56 с.

5. Постанова Кабінету Міністрів України № 934 від 03.09.2009 р. Про внесення змін до постанов Кабінету Міністрів України від 8 жовтня 1997 р. № 1128 і від 10 жовтня 2001 р. № 1306.

6. Постанова Кабінету Міністрів України №1166 від 22.12.2010 р. Про єдині вимоги до конструкції та технічного стану колісних транспортних засобів, що експлуатуються.

7. Johansson, P., Axelsson, J. (2006). WP2 report: Fire safety review of interior materials in buses SP Report 59 in, SP Technical Research Institute of Sweden, Boras, Retrieved from <https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:962390/FULLTEXT01.pdf>

8. Forsyth, M., Modin, H., Sundstrom, B. (2011). A comparative study of test methods for assessment of fire safety performance of bus interior materials, Fire and Materials. doi:<https://doi.org/10.1002/fam.1116>

9. SBF 128:1. Guidelines for fixed automatic fire suppression systems on buses and coaches. Developed by The Swedish Fire Protection Association and the Swedish insurance industry.

10. Willstrand, O., Karlsson, P., Brandt, J., (2016). Fire detection a fire alarm systems in heavy vehicle. Safety – Fire Research, SP Report.



11. Hansen, R. (2021). Pre-ignition detection and early fire detection in mining vehicles. *Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy*, 130 (1), 22-35. doi:10.1080/25726668.2021.1871820

12. Sowah, R., O. Ampadu, K., Ofoli, A., Koumadi, K., A. Mills G., Nortey, J. (2016). Design and implementation of a fire detection and control system for automobiles using fuzzy logic, 2016 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. doi 10.1109/IAS.2016.7731880