

Віра Оксентюк¹, Костянтин Колесник², Андрій Кушнір³, Богдан Копчак⁴

¹Кафедра систем автоматизованого проектування, Національний університет Львівська політехніка”, вул. С.Бандери 12, Львів, Україна, E-mail: vira.m.oksentyuk@lpnu.ua

²Кафедра систем автоматизованого проектування, Національний університет Львівська політехніка”, вул. С.Бандери 12, Львів, Україна, E-mail: kostyantyn.k.kolesnyk@lpnu.ua

³Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, вул. Клепарівська 35, Львів, Україна

⁴Кафедра систем автоматизованого проектування, Національний університет Львівська політехніка”, вул. С.Бандери 12, Львів, Україна, E-mail: bohdan.l.kopchak@lpnu.ua

ЗАСТОСУВАННЯ САХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ З ПЛАТОЮ ARDUINO

Отримано: березень 12, 2024 / Переглянуто: березень 28, 2024 / Прийнято: квітень 01, 2024

© Оксентюк В., Колесник К., Кушнір А., Копчак Б., 2024

<https://doi.org/>

Анотація. В даній статті представлено технологію 3D проектування корпусних деталей пожежного сповіщувача за допомогою систем САХ. Під час 3D проектування компонентів пожежного сповіщувача вдосконалено його конструкцію, та забезпечено його функціонування на основі плати Arduino mini. Виготовлення нижньої кришки пожежного сповіщувача для плати Arduino mini реалізовано за допомогою 3D-принтера. Разом з тим, проведено тепловий аналіз в системі САХ Fusion 360 вдосконаленої конструкції пожежного сповіщувача.

Ключові слова: пожежний сповіщувач (ПС), САХ – системи автоматизованого проектування, мікроконтролер, 3D-модель, 3D- друк

Вступ

Застосування САХ систем для моделювання, дослідження та виготовлення нових корпусних деталей технічного пристрою дозволяє покращити його будову та забезпечити функціональність [1]. Такий підхід дозволяє розробити майстер-модель пристрою в 3D та провести 3D друк його корпусних деталей. Найпопулярнішими САХ програмами для розробки 3D моделей є системи Autodesk Fusion 360, Solidworks, Abaqusta інші. Вони дозволяють провести 3D проектування технічного пристрою. Однак, підготовку моделі до 3D друку доцільно проводити в системах Ultimaker Cura, PrusaSlicer, Simplify3D і т.д., програмне забезпечення яких є безкоштовне та зорієнтовано на більшість сучасних 3D принтерів, що є в широкому вжитку. Імітаційне моделювання процесу функціонування технічних пристроїв доцільно проводити в системі MATLAB Simulink, що дозволяє розробити структурну модель, та провести аналіз технічного об'єкта на функціонально-логічному рівні.

Технічні пристрої інтелектуальних систем, до яких також відносяться пожежні сповіщувачі (ПС), потребують вдосконалення, так як можуть входити до складу різних систем пожежної сигналізації СПС [2] (fire alarm system) (FAS) (СПС).

До найбільш популярних систем протипожежного захисту можна віднести систему пожежної сигналізації (fire alarm system) (FAS) (СПС). До неї її входять наступні компоненти: пожежні датчики, контрольно-сигнальні пристрої, панель управління, система оповіщення, засоби автоматичного управління, резервне живлення та система моніторингу і керування [3]. Пожежні сповіщувачі реагують на фізичні або хімічні ознаки пожежі, до яких можна віднести задимленість приміщень, підвищена температура або наявність CO, CO₂ тощо. Вони розміщуються у відповідних

місцях будівлі згідно нормативного документу [4]. ПС в загальному складаються з корпусних деталей, електронної плати керування та сенсорів [4]. Типові приклади пожежних сповіщувачів подано на рис. 1.



Рис. 1. Типові корпуси пожежних сповіщувачів [2], а) DETECTO SMK-110 ", б) SPD-2, в) SPD-3.

Для покращення функціональних можливостей роботи ПС доцільно застосовувати сучасні алгоритми для роботи апаратної частини пожежного сповіщувача [5-8]. Такі алгоритми покращують швидкість роботи ПС шляхом зменшення часу виявлення тепловими пожежними сповіщувачами загорання в приміщеннях. У роботі [6] запропоновано застосування нечіткої логіки для мультисенсорного пожежного сповіщувача з датчиками диму та тепла на основі теорії нечіткої логіки з алгоритмом Мамдані. Це дає можливість виявити займання на ранній стадії та прийняти правильне рішення щодо його усунення. У статті [7] розроблено детектор полум'я з ІЧ та УФ датчиками з використанням нечіткої логіки. В програмному середовищі MATLAB розроблено модель даного багатоканального ПС. Результати імітаційного моделювання показали, що блок нечіткої корекції розпізнає різні етапи зміни довжини хвилі інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання та частоту мерехтіння та на основі складеної бази правил формує необхідний вихідний сигнал.

У роботі [8] для розробки 3х-канального інфрачервоного сповіщувача полум'я застосовано вдосконалену самоорганізовану радіально-базисну нейронну мережу, що інтегрує нечітку модель Такагі-Сугено. Під час досліджень пожежний сповіщувач розпізнав інфрачервоне випромінювання від вогню та перешкод, що спричинені зовнішніми джерелами. Реалізація алгоритмів роботи ПС проведена на базі мікропроцесорної техніки Arduino з використанням мови програмування С. У роботі [9] була здійснена апаратна реалізація нечіткої логіки Сугено теплового ПС. Для цього застосовано мікроконтролер на базі апаратно-обчислювальної платформи ArduinoMega 2560 з використанням мови програмування С.

В роботах [10-13] автори застосовують плату ArduinoUno з різними типами давачами для побудови інтелектуальних систем для виявлення загорання. В роботі [10] система через модем GSM посилає повідомлення про пожежу або несправність, вмикає помпи пожежогасіння, подає сигнали тривоги і вимикає електроживлення будинку. В роботі [11] запропоновано систему, в якій після перевищення порогових заданих значень контрольованих ознак, мікроконтролер вмикає вентилятор для виведення диму. Одночасно Arduino надсилає інформацію про пожежу через модуль Wi-Fi ESP8266. В роботах [12, 13] на платі ArduinoUno реалізовується нечітка логіка Мамдані. В роботі [14] застосування плати ArduinoNano (Італія) проводилося лише для збору інформації від різних давачів. При цьому, передачу даних до модуля контролера нечіткої логіки на Android реалізовувалося через модуль Wi-Fi ESP8266.

Усі ці роботи демонструють актуальність удосконалення алгоритмів керування мікропроцесорною складовою ПС за допомогою апаратно-обчислювальних платформ Arduino та їх подальшому удосконаленню конструкції корпусних деталей ПС на базі таких платформ. Отже, покращення ефективності роботи ПС можливе за рахунок удосконалення алгоритму роботи

апаратно-обчислювальної частини ПС та реалізації її на платі *Arduinomini*. Для цього необхідно удосконалити конструкцію корпусних деталей типового ПС для можливості кріплення плат мікропроцесора типу *Arduinomini* [9]. Процес модифікації конструкції ПС передбачає розроблення 3D моделі корпусних деталей ПС, удосконалення моделі за рахунок додавання кріплень плати *Arduino*, проведення імітаційного моделювання та виготовлення майстер-моделі для подальших натурних експериментів як корпусних деталей ПС так і СПС в цілому.

Метою дослідження є 3D проектування корпусних деталей пожежного сповіщувача з платою *Arduino*. Завданнями дослідження є:

1. Удосконалення процесу керування апаратною частиною ПС шляхом застосування алгоритмів з нечіткою логікою.
2. Оцифрування частин корпусу типового пожежного сповіщувача та 3D моделювання посадочного місця для плати *Arduino* в основі корпусу FD
3. Виготовлення корпусних деталей за технологією 3D-друку та формування майстер-моделі.
4. Інженерний аналіз та оптимізація конструкції пожежного сповіщувача.

Виклад основного матеріалу

Керування апаратною частиною ПС

Для підвищення функціональності пожежного сповіщувача доцільно використовувати сучасні алгоритми апаратного забезпечення пожежного сповіщувача (алгоритм на основі контролера з нечіткою логікою). Для дослідження обрано модуль, сформований на платформі *ArduinoUno*. Мікроконтролер *Atmega328*, що входить до складу *ArduinoUno*, має наступні характеристики: 32 КБ флеш-пам'яті, 2 КБ ОЗУ, 14 цифрових входів/виходів, 8 аналогових входів і підтримку популярних інтерфейсів зв'язку [9]. Такий алгоритм управління покращить роботу пожежного сповіщувача та зменшить час виявлення загоряння пожежними сповіщувачами.

Математичні основи нечіткої логіки викладені в [9]. Для дослідження різноманітних нечітких систем у програмному комплексі *MATLAB/Simulink* є спеціальний інструментарій, відомий як *FuzzyLogicToolbox*. Використовуючи цей набір інструментів, нечіткі системи можуть бути ефективно представлені та змодельовані через *Simulink/MATLAB*. У цій статті досліджується метод нечіткого висновку Сугено, який часто називають методом Сугено-Канга, який є скороченою формою, похідною від Такагі-Сугено-Канга. Ілюстративно правило в нечіткій моделі Сугено першого порядку, зокрема, коли функції належності вихідних даних є лінійними залежностями від двох вхідних сигналів можна подати наступним чином:

IF Input1 = x and Input2 = y, **THEN** (на виході)

$$z = ax + by + c. \quad (1)$$

де 'a' і 'b' являють собою коефіцієнти лінійної залежності від вхідних сигналів, а 'c' є константою. Загальним результатом системи є середньозважене значення вихідних даних усіх правил, яке обчислюється як:

$$FinalOutput = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \quad (2)$$

де N – кількість правил.

Оптимальні результати під час програмної реалізації нечіткого блоку в програмному середовищі *Arduino* досягаються при застосуванні функцій належності трикутної та трапецієподібної форми. Трикутна крива слугує функцією приналежності та базується на трьох скалярних параметрах: a , m і b , які позначаються як:

$$\mu_A(x; a, m, b) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{m-a}, \frac{b-x}{b-m}\right), 0\right). \quad (3)$$

Параметри a і c встановлюють «катети» трикутника, а параметр m позначає його вершину. Трапецієподібна крива функціонує як функція належності та спирається на чотири скалярні параметри: a, b, c і d , як представлено в цьому рівнянні

$$\mu_A(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right). \quad (4)$$

Параметри a і d визначають розташування «підніжжя» трапеції, тоді як параметри b і c визначають «плечі».

В роботі [9] створено нечітку модель контролера Sugeno з двома входами та визначеними специфікаціями, а також параметри для функцій належності. На основі попередньо сформульованої та перевіреної моделі нечітких блоків у MATLAB/Simulink її було реалізовано за допомогою мови програмування С на платі ArduinoMega 2560. Плата ArduinoMega 2560 живиться від мікроконтролера AtmelATMega 2560, що працює на кварцовій частоті 16 МГц.

У програмному комплексі Arduino, використовуючи встановлені математичні залежності (1) – (4), нами забезпечено апаратну реалізацію запропонованого нечіткого блоку Sugeno нульового порядку з двома входами. Після програмування плати Arduino проведено експериментальні дослідження шляхом зміни вхідної напруги потенціометра на платі від 0 до 5 В з генерацією сигналу нечітким блоком.

3D-моделювання та друк

Для вирішення задач з 3D моделювання [15] корпусних деталей ПС під плату Arduino застосовано САПР Fusion 360 та систему Blender, а для 3D друку – Cura. При цьому, виконано наступні етапи проектування корпусних деталей пожежного сповіщувача

1. 3D моделювання пристрою в програмному забезпеченні системи BLENDER та отримання .stl моделей для 3D друку в системі Cura.
2. 3D-друк частин корпусу пожежного сповіщувача за допомогою програмного середовища Cura та отримання майстер-моделі пристрою.
3. Інженерний аналіз та оптимізація корпусних частин пожежного сповіщувача в програмній системі Fusion 360.

В середовищі BLENDER розроблено верхню кришку та основу корпусу ПС (рис. 2, а). Для монтажу плати ArduinoMini з габаритним розміром 33x18 мм сформовано в основі ПС посадочне місце.

Для реалізації наступного етапу створення майстер-моделі корпусних деталей ПС застосовано програмний продукт Cura. Виготовлення майстер-моделі корпусних деталей ПС проводилося за допомогою обладнання кафедри САП ІКНІ НУЛП. Для 3D-друку частин корпусу пожежного сповіщувача застосовано 3D-принтер Ender 3 Max (компанія Creality).

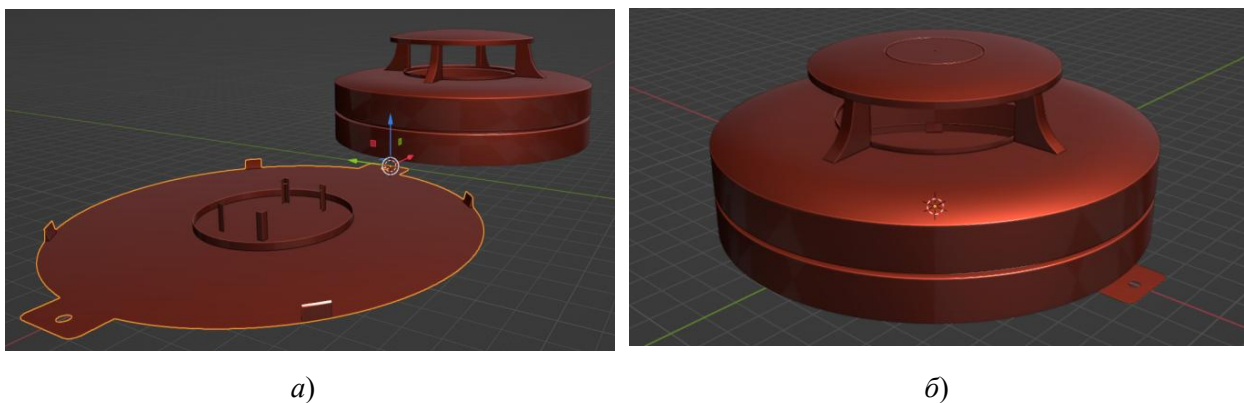


Рис. 2. 3D модель пожежного сповіщувача; а) корпусні деталі ПС, б) ПС в зібраному стані.

Для забезпечення процесу 3D-друку ПС успішно застосовано програмне забезпечення CuraSlicer'Cura' [15], яке дозволило підготувати та налаштувати параметри друку моделей корпусних деталей на 3D принтері, таких як швидкість, товщина шару, заповнення тощо. Після дослідження 3D моделі пожежного сповіщувача були внесені наступні зміни в налаштування базового профілю принтера Ender 3 max для PLA пластику. Отримання майстер-моделі ПС забезпечено шляхом його 3D-друку основи з новими елементами кріплення для плати Arduino (рис. 9).



Рис. 3.Результат 3D -друку нижньої кришки корпусу ПС з новими елементами кріплення.

Додаткову обробку поверхонь корпусних деталей ПС проводили з використанням розчинника дихлорметану (DCM), яку доцільно застосовувати до виробів з акрилонітрил-бутадієн-стиролу (ABS) або полікарбонату (PC). Однак, дихлорметан є потенційно небезпечною речовиною, тому при роботі з ним необхідно дотримуватися певних заходів безпеки.

Інженерний аналіз в САПР

Інженерний аналіз та оптимізація конструкції ПС проводилася в CAxFusion 360 [4]. Процес включав наступні етапи:

1. 3D конструювання деталей пожежного сповіщувача на основі сформованої майстер- моделі (рис.4, а, б, в).
2. Компоновка пожежного сповіщувача в Fusion 360 з формованих 3D-деталей(рис.4, д).
3. Тепловий розрахунок пожежного сповіщувача в температурному діапазоні його роботи на основі розробленої для цього розрахункової моделі.
4. Тепловий аналіз та оптимізація конструкції основи ПС з її посадковим місцем для плати Arduino.

Результати 3D моделювання ПС відповідно до розмірів, що отримані з майстер-моделі та об'єднаних деталей ПС в Fusion 360 представлено на рис. 10. Розміри 3D-моделей, побудованих у Fusion 360 відповідають фактичним розмірам надрукованої майстер-моделі. Отримана 3D-модель ПС дозволяє провести тепловий аналіз пристрою. Це є суттєвою перевагою, оскільки не потребує натурних випробувань реального зразка і виключає ризики пошкодження готових майстер-моделей. Результати моделювання щодо впливу температури можна враховувати під час виготовлення ПС в серійному виробництві.

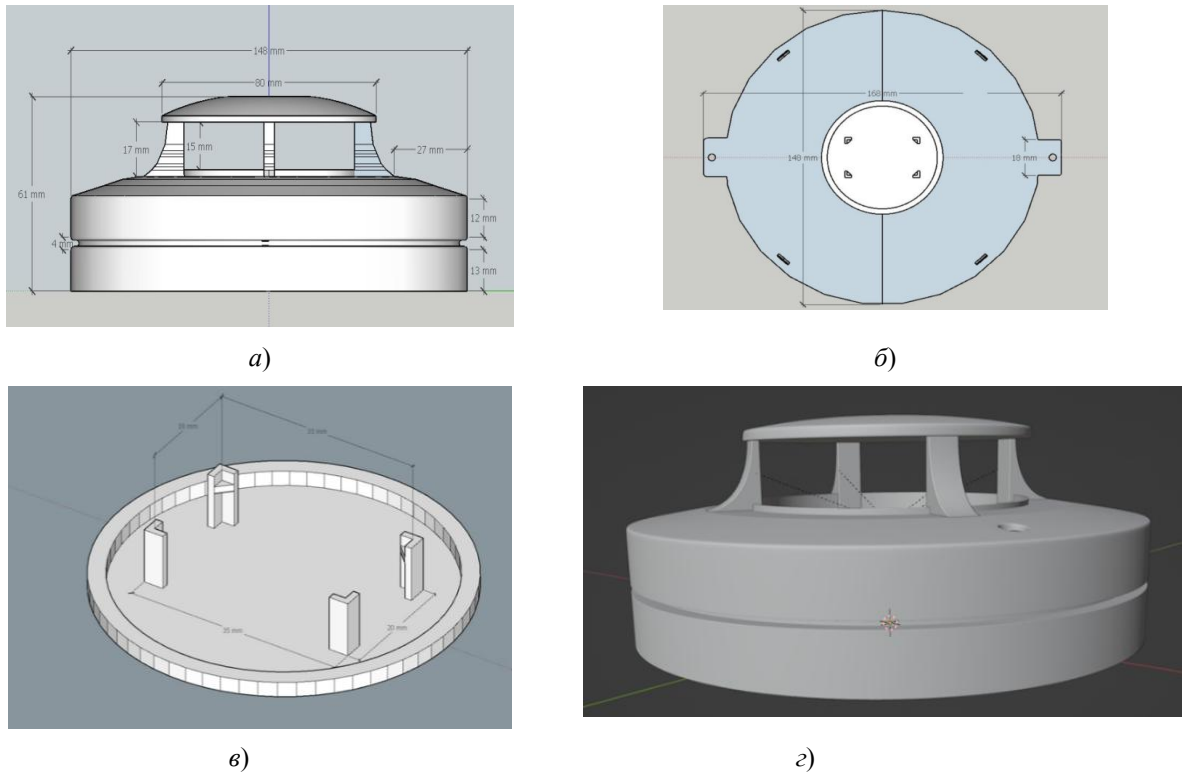


Рис. 4. 3D моделювання ПС в системі Fusion 360.

Для корпусних деталей ПС одним з основних параметрів його функціонування є клас температури. Тому було проведено дослідження корпусних деталей ПС в температурному діапазоні його роботи (50-80 °С). Результати показали відповідний розподіл температури в корпусі ПС, що дозволило оптимізувати конструкцію основи ПС для посадки в нього плати Arduino.

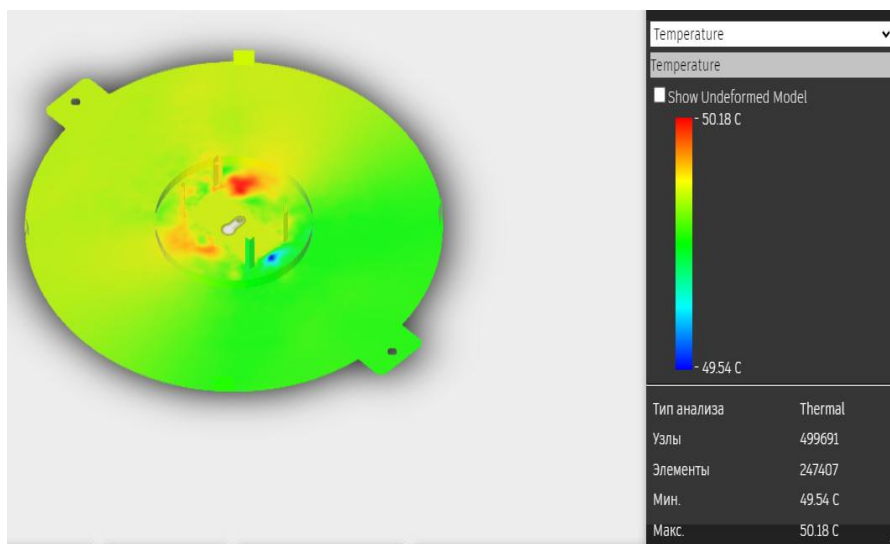


Рис. 5. Тепловий розрахунок пожежного сповіщувача в діапазоні температур його спрацювання (50-80 °С).

В загальному у даній роботі наведено науково-прикладні та техніко-технологічні результати 3D проектування корпусних деталей пожежних сповіщувачів, та вибору САх систем для роз-

роблення та виготовлення майстер-моделі. Одержані результати досліджень дозволять покращити ефективність роботи пожежних пристроїв такого класу, і можуть бути корисними під час 3D проектування.

Висновки

Проаналізовано особливості проектування корпусних деталей пожежних сповіщувачів з застосуванням мікропроцесорного керування на базі плати Arduino mini. Наведено основні закономірності нового алгоритму керування апаратною частиною ПС з використанням регулятора з нечіткою логікою, реалізованого за допомогою мікропроцесорного керування Arduino mini. Удосконалено конструкцію корпусних деталей ПС за рахунок додавання елементів кріплення плати Arduino mini. Проведено 3D моделювання ПС в програмі Blender та отримано відповідні .stl моделі для 3D друку в системі Cura. За допомогою обладнання кафедри САП НУЛП забезпечено 3D-друк частин корпусу пожежного сповіщувача за допомогою програмного середовища Cura та отримано майстер-модель ПС. Інженерний аналіз та оптимізація корпусних частин пожежного сповіщувача реалізовано в програмній системі Fusion 360. Отримана майстер-модель дозволить реалізувати пожежний сповіщувач з платою Arduino для реалізації новітніх мікропроцесорних алгоритмів керування, а також покращити експлуатаційні характеристики ПС, зокрема точність та швидкість його роботи.

Перелік використаних джерел

- [1] A Small-Sized Robot Prototype Development Using 3D Printing / I. Nevliudov, V. Yevsieiev, S. Maksymova, O. Chala // In XXXI International Conference CAD In Machinery Design Implementation and Educational Issues, 26-28 October 2023. – P.12
- [2] Баканов, В. В. (2019). Мультисенсорні іпожежні сповіщувачі. Всеукраїнський науково – виробничий журнал Пожежна та техногенна безпека, 11(74), 8-10.
- [3] CAMBA J. D., CONTERO M., COMPANY P., Parametric CAD modeling: An analysis of strategies for design reusability, Computer-Aided Design, vol. 74, p. 18–31, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2016.01.003>
- [4] CEN/TS 54-14:2018. Fire detection and fire alarm systems – Part 14: Guidelines for planning, design, installation, commissioning, use and maintenance.
- [5] E. Çetin, B. Mercı, O. Gunay, B. U. Toreyin, and S. Verstockt, “Infrared Sensor-Based Flame Detection,” Methods and Techniques for Fire Detection. Signal, Image and Video Processing Perspectives 2016, pp. 47-59. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802399-0.00003-X>
- [6] Andrii Kushnir, and Bohdan Kopchak, “Development of Intelligent Point Multi-Sensor Fire Detector with Fuzzy Correction Block,” 2019 IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana, Ukraine, May 2019, pp. 41-45. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH.2019.8817395>
- [7] Andrii Kushnir, and Bohdan Kopchak, “Development of Multiband Flame Detector with Fuzzy Correction Block,” 2021 IEEE XVII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana, Ukraine, May 2021, pp. 58-63. <https://doi.org/10.1109/MEMSTECH53091.2021.9468075>
- [8] Ziteng Wen, Lin boXie, Hongwei Feng, and Yong Tan, “Infrared flame detection based on a self-organizing TS-type fuzzy neural network,” Neurocomputing, Volume 337, April 2019, pp. 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.01.045>
- [9] Andrii Kushnir, Bohdan Kopchak, and Bohdan Kopchak, “Development of Heat Detector Based on Fuzzy Logic Using Arduino Board Microcontroller,” 2021 IEEE XVII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH), Polyana, Ukraine, May 2021, pp. 58-63.
- [10] Kennedy Okokpujie, Samuel Ndueso John, Etinosa Noma-Osaghae, OkokpujieImhade Princess and Okonigene Robert, “A wireless sensor network based fire protection system with SMS alerts,” International Journal of Mechanical Engineering and Technology, February 2019, Vol. 10, Issue 02, pp. 44–52.
- [11] A.T. Jeevanandham and P. Sivamurgan, “IoT Based Automatic Fire Alarm System,” Bulletin of Scientific Research. 2020. Vol. 2. Issue 1. pp. 29–34. <https://doi.org/10.34256/bsr2015>
- [12] Abdul Rehman, Muhammad Ahmed Qureshi, Tariq Ali, Muhammad Irfan, Saima Abdullah, Sana Yasin, Umar Draz, Adam Glowacz, Grzegorz Nowakowski, Abdullah Alghamdi, Abdulaziz A. Alsulami and Mariusz

Wegrzyn. Smart Fire Detection and Deterrent System for Human Savior by Using Internet of Things (IoT). MDPI Energies. 2021, Vol. 14, . 5500. <https://doi.org/10.3390/en14175500>

[13] Barera Sarwar, Imran Sarwar Bajwa, Shabana Ramzan, Bushra Ramzan, and Mubeen Kausar, “Design and Application of Fuzzy Logic Based Fire Monitoring and Warning Systems for Smart Buildings,” MDPI Symmetry, 2018, Vol. 10(11), Issue 615, pp. 1-24. <https://doi.org/10.3390/sym10110615>

[14] UduakUmoh, Udoinyang G. Inyang, and Emmanuel E. Nyoho, “Interval Type-2 Fuzzy Logic for Fire Outbreak Detection,” International Journal on Soft Computing, Artificial Intelligence and Applications (IJSCAI), August 2019, Vol.8, No.3, pp. 27–46. <https://doi.org/10.5121/ijscai.2019.8303>

[15] Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування : навчальний посібник / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 105 с.

Vira Oksentyuk¹, Kostyantyn Kolesnyk², Andrii Kushnir³, Bohdan Kopchak⁴

¹Computer Aided Design Department, Lviv Polytechnic National University, S. Bandery st., 12, Lviv, Ukraine, E-mail: vira.m.oksentyuk@lpnu.ua

²Computer Aided Design Department, Lviv Polytechnic National University, S. Bandery st., 12, Lviv, Ukraine, E-mail: kostyantyn.k.kolesnyk@lpnu.ua

³ Lviv State University of Life Safety, Kleparivska st., 35, Lviv, Ukraine

⁴ Computer Aided Design Department, Lviv Polytechnic National University, S. Bandery st., 12, Lviv, Ukraine, E-mail: bohdan.l.kopchak@lpnu.ua

APPLICATION OF CAX SYSTEMS FOR AUTOMATED DESIGN OF FIRE DETECTORS WITH AN ARDUINO BOARD

Received: March 12, 2024 / Revised: March 28, 2024 / Accepted: April 01, 2024

© Oksentyuk V., Kolesnyk K., Kushnir A., B. Kopchak V., 2024

Abstract. This article presents the technology of 3D design of fire detector body parts using the CAX system. During the 3D design of the components of the fire detector, its design has been improved, and its operation is ensured on the basis of the Arduinomini board. The production of the lower cover of the fire detector for the Arduinomini board is realized with the help of a 3D printer. At the same time, a thermal analysis was carried out in the CAX Fusion 360 system of the improved fire detector design.

Keywords: fire detector, computer added design, microcontroller, 3D-model, 3-D print