

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Львівського державного
університету безпеки життєдіяльності



Дмитро БОНДАР

2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації доцента кафедри цивільного захисту Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, кандидата технічних наук, доцента **ГАВРИЛЮКА Андрія Федоровича** на тему: **“Розвиток наукових основ протипожежного захисту електричних колісних транспортних засобів (електромобілів)”**, поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека

Призначені рішенням Вченої ради Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (протокол № 4 від 27 листопада 2024 року) рецензенти, а саме:

- **КУЗИК Андрій Данилович**, завідувач кафедри екологічної безпеки, доктор сільськогосподарських наук, професор;
- **МАРТИН Євген Володимирович**, професор кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій, доктор технічних наук, професор;
- **ЛАВРЕНЮК Олена Іванівна**, професор кафедри фізики та хімії горіння, доктор технічних наук, доцент,

розглянувши докторську дисертацію **ГАВРИЛЮКА Андрія Федоровича** на тему: “Розвиток наукових основ протипожежного захисту електричних колісних транспортних засобів (електромобілів)” (тему дисертації уточнено та затверджено рішенням Вченої ради Львівського державного університету безпеки життєдіяльності протокол № 4 від 27 листопада 2024 року), наукові публікації, в яких висвітлено основні наукові результати, а також за результатами розширеного засідання кафедри цивільного захисту Львівського державного університету

безпеки життєдіяльності (протокол № 10 від 20 грудня 2024 року), підготували висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів докторської дисертації:

1. Дисертація ГАВРИЛЮКА Андрія Федоровича, представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека, є кваліфікаційною науковою працею, підготовленою у вигляді рукопису. За обсягом, актуальністю, рівнем наукової новизни та практичної цінності робота відповідає вимогам п. 7–9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року.

2. Актуальність теми дослідження.

Однією з провідних тенденцій сучасної автомобільної промисловості є швидке зростання кількості електромобілів (електричних колісних транспортних засобів) у глобальному масштабі. Такий розвиток зумовлений, з одного боку, обмеженими світовими запасами вуглеводневих ресурсів, а з іншого – значною кількістю шкідливих викидів, спричинених транспортними засобами з двигунами внутрішнього згоряння, а також державними програмами провідних країн, що заохочують придбання саме електромобілів. За даними Міжнародного енергетичного агентства, у 2023 році кожен п'ятий проданий автомобіль був електричним. Станом на 2024 рік світовий парк електромобілів перевищив 40 млн одиниць, що приблизно у 8 разів більше, ніж у 2019 році. За прогнозами, до 2029 року їх кількість сягне понад 100 млн. Ця динаміка формує нові виклики для фахівців та дослідників щодо безпечної експлуатації таких транспортних засобів.

Живлення тягових електродвигунів електромобілів забезпечують силові акумуляторні батареї (АКБ). Серед різноманітних типів АКБ (свинцево-кислотних, нікель-кадмієвих, натрієво-сульфатних) літій-іонні батареї (LIB) набули найширшого застосування завдяки перевагам: високій щільності енергії (150–250 Вт·год/кг і більше), значним струмам розряду/заряду, тривалому терміну служби (понад 10 років) і низькому саморозряду. Водночас суттєвим недоліком LIB є здатність до самозаймання та інтенсивного горіння за умов механічних пошкоджень, відхилень від штатних режимів експлуатації, внутрішнього короткого замикання або впливу зовнішніх джерел тепла.

Враховуючи викладене, наукові дослідження спрямовані на розкриття механізму горіння силових літій-іонних акумуляторних батарей від їх температури нагрівання, технічних характеристик та конструктивних параметрів для розвитку наукових основ прогнозування виникнення пожежі, як теоретична база забезпечення протипожежного захисту електромобілів, є актуальною науковою проблемою.

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана відповідно до Концепції наукової діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності на 2020-2025 роки; замовлення Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям ДСНС України на науково-дослідні роботи, які окреслені у плані наукової і науково-технічної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності на 2024 рік; Стратегії розвитку системи технічного регулювання на період до 2025 року, затвердженої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17.11.2020 № 443; програм науково-дослідних робіт: «Підвищення ефективності забезпечення протипожежного захисту електромобілів» (номер державної реєстрації 0119U102482), «Особливості виникнення процесів займань у силових акумуляторних батареях електромобілів (на прикладі TESLA MODEL S)» (номер державної реєстрації 0124U002454), «Обґрунтування вимог пожежної безпеки до електрозаправних станцій» (номер державної реєстрації 0121U112129), «Обґрунтування параметрів та типів первинних засобів пожежогасіння для оснащення колісних транспортних засобів» (номер державної реєстрації 0123U100457), в яких здобувач був виконавцем.

4. Особистий внесок здобувача в одержанні наукових результатів. Особистий внесок здобувача є визначальним на всіх етапах досліджень та полягає в обґрунтуванні актуальної науково-прикладної проблеми у сфері пожежної безпеки, формулюванні мети та завдань дослідження, аналізі вітчизняних, закордонних наукових джерел, удосконаленні та розробленні методик дослідження, плануванні та проведенні експерименту, обробці отриманих результатів та їх узагальненні.

5. Ступінь використання у дисертації матеріалів і висновків кандидатської дисертації здобувача. У докторській дисертації кандидата технічних наук, доцента ГАВРИЛЮКА Андрія Федоровича відсутні матеріали його кандидатської дисертації.

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків, які сформульовані в дисертації.

У ході виконання дисертаційної роботи застосовано як експериментальні, так і теоретичні методи досліджень. Теоретичний підхід передбачав проведення комплексного аналізу та узагальнення відомих наукових праць, присвячених особливостям виникнення та розвитку необоротних електро-теплових процесів у силових літій-іонних акумуляторних батареях, а також пожежам електричних колісних транспортних засобів. Крім того, виконано математичне моделювання теплових процесів нагрівання елементів та модулів силових акумуляторних батарей із використанням методів стаціонарної та нестаціонарної

теплопровідності, а також польових методів. З метою перевірки належності дисперсії результатів досліджень до однієї генеральної сукупності було застосовано критерій Фішера. Для обґрунтування розміру розрахункової сітки комп'ютерних моделей використано метод дихотомії. Окрім цього, застосовано табличний метод, спрощений метод, розрахунковий метод із використанням рівнянь нестационарної теплопровідності, а також розрахунковий метод на основі польових моделей для оцінювання поширення пожежі між елементами силових батарей електромобілів. Методи математичної статистики слугували для опрацювання результатів експериментальних досліджень.

Експериментальна частина виконана згідно з розробленими здобувачем методиками, що передбачали застосування метрологічно атестованого обладнання та повірених засобів вимірювання. Для розв'язання диференціальних рівнянь було залучено метод кінцевих об'ємів, а при моделюванні процесів виникнення та розвитку пожеж в електричних колісних транспортних засобах використано метод Ейлера.

7. Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше отримані наступні наукові результати:

1. Теоретично встановлено та експериментально підтверджено, що у літій-іонних елементах силової АКБ електромобілів з катодним матеріалом NCA (літій-нікель-кобальт-алюміній оксид $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$) при впливі зовнішнього теплового потоку густиною 30 кВт/м^2 час виникнення займання змінюється:

- при зміні просторового розміщення відносно джерела тепла з вертикального (анодом до джерела тепла) на горизонтальне – не лінійно зменшується з 1225 с до 1115 с для 100 % заряджених літій-іонних елементів;

- для горизонтального просторового розміщення відносно джерела тепла при зміні ступеня заряду з 100 % до 0 % – не лінійно зростає з 1115 с до 1340 с.

2. Розрахунковим методом доведено та експериментально підтверджено, що температура горіння літій-іонних елементів силової АКБ електромобілів з катодним матеріалом NCA (літій-нікель-кобальт-алюміній оксид $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$) при впливі зовнішнього теплового потоку густиною 30 кВт/м^2 може змінюватись:

- для 100 % заряджених літій-іонних елементів при зміні просторового розміщення відносно джерела тепла з вертикального (анодом до джерела тепла) на горизонтальне – зростати з $690 \text{ }^\circ\text{C}$ до $810 \text{ }^\circ\text{C}$;

- при горизонтальному просторовому розміщенні джерела тепла та зміні ступеня заряду з 100 % до 0 % – зменшуватись з $810 \text{ }^\circ\text{C}$ до $450 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Для найпоширеніших сучасних катодних матеріалів, на основі математичного моделювання, визначено функціональні залежності часу виникнення горіння (τ) літій-іонних батарей від ємності (с), заряду (к), густини зовнішнього теплового потоку (q) створеного відкритим полум'ям (1) та електронагрівальною панеллю (2) для АКБ:

- з катодним матеріалом NCM (літій-нікель-манган-кобальт оксид $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$):

$$\tau_{\text{NCM}} = 499 - 60 \cdot k - 312 \cdot q + 83 \cdot c + 47 \cdot k \cdot q - 27 \cdot k \cdot c - 40 \cdot q \cdot c + 22 \cdot k \cdot q \cdot c \quad (1)$$

$$\tau_{\text{NCM}} = 5255 - 253 \cdot k - 3435 \cdot q + 1191 \cdot c + 169 \cdot k \cdot q - 51 \cdot k \cdot c - 773 \cdot q \cdot c + 26 \cdot k \cdot q \cdot c \quad (2)$$

- з катодним матеріалом NCA (літій-нікель-кобальт-алюміній оксид $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$):

$$\tau_{\text{NCA}} = 453 - 66 \cdot k - 286 \cdot q + 86 \cdot c + 51 \cdot k \cdot q - 32 \cdot k \cdot c - 49 \cdot q \cdot c + 29 \cdot k \cdot q \cdot c \quad (1)$$

$$\tau_{\text{NCA}} = 4750 - 225 \cdot k - 3112 \cdot q + 1096 \cdot c + 147 \cdot k \cdot q - 51 \cdot k \cdot c - 717 \cdot q \cdot c + 34 \cdot k \cdot q \cdot c \quad (2)$$

- з катодним матеріалом LFP (літій-ферум фосфат LiFePO_4):

$$\tau_{\text{LFP}} = 540 - 75 \cdot k - 329 \cdot q + 103 \cdot c + 59 \cdot k \cdot q - 46 \cdot k \cdot c - 55 \cdot q \cdot c + 36 \cdot k \cdot q \cdot c \quad (1)$$

$$\tau_{\text{LFP}} = 5520 - 249 \cdot k - 3612 \cdot q + 1276 \cdot c + 177 \cdot k \cdot q - 78 \cdot k \cdot c - 848 \cdot q \cdot c + 31 \cdot k \cdot q \cdot c \quad (2)$$

4. Методами комп'ютерного моделювання виявлено закономірність зниження часу виникнення займання у АКБ електромобіля залежно від хімічного складу катодів, а саме час виникнення займання АКБ електромобіля з катодним матеріалом літій-нікель-манган-кобальт оксид ($\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$) є на 9-16% менший порівняно з батареєю, катод якої виготовлений на основі літій-нікель-кобальт-алюміній оксид ($\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Al}_z\text{O}_2$) і на 15-19% меншим порівняно з батареєю, катод якої виготовлений на основі літій-ферум фосфату (LiFePO_4), при однакових технічних характеристиках, конструктивних та експлуатаційних параметрах, а також однаковій густині теплового потоку зовнішнього джерела тепла.

5. Обґрунтовано та розроблено науково-методичний апарат, що дозволяє визначати безпекові часові умови до виникнення горіння силових акумуляторних батарей електромобілів, ємність яких є в межах від 30 кВт·год до 100 кВт·год з катодними матеріалами літій-нікель-кобальт-алюміній оксид, літій-нікель-манган-кобальт оксид, літій-ферум фосфат при дії теплового потоку густиною від 10 кВт/м² до 200 кВт/м² для джерел тепла як з відкритим полум'ям, так і без нього.

Удосконалено:

1. На основі досліджень наслідків реальних пожеж та аналізу технічних параметрів сучасних силових акумуляторних батарей електромобілів, обґрунтовано критеріальну базу, а саме: енергетичну ємність, ступінь заряду, просторове розміщення, катодний матеріал, параметри зовнішнього джерела тепла, що дозволяє прогнозувати умови виникнення горіння.

2. Науково-методичну та експериментальну базу дослідження виникнення та протікання процесів горіння у силових літій-іонних АКБ електромобілів в масштабах елемента, модуля та електромобіля в цілому, відмінною рисою якої є обґрунтування розміщення та використання мінімальної кількості термопар для забезпечення точності вимірювань.

Набули подальшого розвитку:

1. Оптимізаційна задача формування конструкції силових літій-іонних АКБ електромобілів, отримана на підставі експериментальних визначень часових та температурних параметрів виникнення процесів їх горіння, що дає змогу удосконалити протипожежний захист електричних колісних засобів.

2. Науково-прикладні засади, які базуються на інтеграції чисельного моделювання та експериментальних досліджень, щодо прогнозування та оцінювання можливості виникнення процесів горіння у силових літій-іонних АКБ, як підґрунтя удосконалення конструкції електромобілів.

8. Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність результатів дисертаційного дослідження полягає в обґрунтуванні та розробленні науково-методичного апарату, що інтегрує методики натурних досліджень і табличного методу визначення часу початку виникнення необоротних електро-теплових процесів у силових батареях електромобілів. У поєднанні з обґрунтованими критеріями, які впливають на ефективність систем протипожежного захисту, цей апарат дає можливість визначати безпечні часові умови, які передують процесам виникнення займань електричних колісних транспортних засобів.

Визначено критерії та якісно удосконалено механізм, що характеризують умови виникнення горіння акумуляторних батарей, які відрізняються врахуванням джерел тепла як з відкритим полум'ям так і без нього. Визначено найбільш значущі технічні характеристики, конструктивні та експлуатаційні чинники, які впливають на виникнення та протікання горіння силових акумуляторних батарей електромобілів, а саме: катодний матеріал, рівень заряду силових літій-іонних батарей, а також їх просторове розміщення відносно джерела тепла.

Отриманні результати стали підґрунтям та використані при розробці ДСТУ 9222:2023 «Пожежна безпека. Протипожежний захист систем зарядки електромобілів. Основні положення», а також проекту змін до Постанови Кабінету Міністрів України №1128 «Про забезпечення колісних транспортних засобів первинними засобами пожежогасіння».

9. Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях. Дисертаційна робота Андрія ГАВРИЛЮКА містить особисто отримані здобувачем науково обґрунтовані результати, а кількість та якість наукових праць, опублікованих за її матеріалами, відповідають Наказу МОН України № 1220 від 23 вересня 2019 року “Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук”.

Основні положення і наукові результати дисертації увійшли до 55 опублікованих робіт, серед яких: 6 статей, проіндексовані у науково-

метричних баз даних Scopus; 14 статей у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття, що додатково відображає наукові результати дисертації; 2 патенти України на корисну модель; 32 матеріали конференцій різного рівня та наукової специфіки.

**Список публікацій, що
відображають основні наукові результати дисертації**

**Статті у періодичних виданнях,
включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України,
або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних
Scopus та/або Web of Science Core Collection**

1. Pasnak I., Prydatko O., **Gavrilyk A.** Development of algorithms for efficient management of fire rescue units. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 3, 3 (81). P. 22–28. (Scopus Q3). (Здобувачем проведено дослідження тривалості слідування та маршрутів руху спеціальних транспортних засобів (пожежних автомобілів) до місця виникнення пожеж електромобілів та розроблено імітаційну модель управління діями пожежно-рятувальних підрозділів, яка створить умови для зменшення часу вільного розвитку зазначених пожеж).

2. Kushnir A., Kopchak B., **Gavryliuk A.** Operational algorithm for a heat detector used in motor vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3, 10 (111). P. 6–18. (Scopus Q3). (Здобувачем проведено експериментальне дослідження алгоритму роботи максимально-динамічного теплового пожежного сповіщувача із змінними параметрами спрацювання для ефективного виявлення підвищення температури силових батарей електромобілів на початкових етапах виникнення термодеструктивного процесу).

3. Nazarenko S., Kovalenko R., **Gavryliuk A.**, Vinogradov S., Kryvoshei B., Pavlenko S., Boikov I., Muzichuck V., Kalinin P. Determining the dissipative properties of a flexible pipeline's material at stretching in the transverse direction taking its structural elements into consideration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2, 1 (110). P. 12–20. (Scopus Q3). (Здобувачем отримано залежність зміни дисипативних властивостей матеріалу внутрішнього гідроізолюючого шару пожежного рукава внутрішнім діаметром 77 мм при послідовних циклах деформацій від режиму навантаження під час гасіння та охолодження силових батарей електромобілів).

4. Gydym V., Mykhalichko B., Nazarovets O., **Gavryliuk A.** The effect of short circuits and flame temperature modes on the change in the microstructure of copper in automotive wiring. *Engineering Failure Analysis*. 2022. Vol. 136, 106198. (Scopus

Q1). (Здобувачем проведено вогневі експериментальні дослідження впливу струмів короткого замикання на мікроструктуру силових провідників електромобілів).

5. Gavryliuk A., Yakovchuk R., Ballo Y., Rudyk Y. Thermal Modeling of the Electric Vehicle Fire Hazard Effects on Parking Building. *SAE International Journal of Transportation Safety*. 2023. Vol. 11(3). P. 421–434. (Scopus Q3). (Здобувачем шляхом математичного моделювання з використанням прикладного програмного забезпечення *Fire Dynamics Simulator* здійснено моделювання температурних параметрів пожежі електромобіля на приладі автомобіля *Tesla Model S* та отримано значення безпечної мінімальної протипожежної відстані впродовж часу вільного розвитку 610 с для пожежі електромобіля на закритому паркінгу).

6. Gavryliuk A., Yakovchuk R., Chalyu D., Lemishko M., Tur N. Determination of fire protection distances during a tesla model s fire in a closed parking lot. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 2 (10 (122)). P. 39–46. (Scopus Q3). (Здобувачем отримано розподіл температурних полів під час дослідження процесів горіння електромобілів, обладнаних силовими літій-іонними акумуляторами та побудовано відповідні графічні залежності).

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України

7. Гаврилюк А. Ф., Лин А. С. Протипожежний захист колісних транспортних засобів та шляхи його підвищення. *Пожежна безпека*. 2017. №31. С. 11–17. (Здобувачем обґрунтовано застарілість діючих норм оснащення колісних транспортних засобів первинними засобами пожежогасіння, установками гасіння та виявлення пожежі та розроблено зміни, які покликані підвищити протипожежний захист колісних транспортних засобів в тому числі і електромобілів).

8. Гаврилюк А. Ф., Лемішко М. В. Аналіз еквівалентної паливної ощадливості електромобілів. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2019. №20. С. 85–89. (Здобувачем розроблено та запропоновано методика визначення еквівалентної паливної ощадливості електромобілів).

9. Гаврилюк А. Ф., Кушнір А. П. Аналіз пожежної небезпеки електромобілів за термічною стабільністю силової літєвої акумуляторної батареї. *Пожежна безпека*. 2022. №40. С. 31–39. (Здобувачем визначено та прокласифіковано чинники впливу на пожежну безпеку електромобілів а також описано та проаналізовано пожежну небезпеку різних типів силових літій-іонних батарей, які використовуються у сучасних електромобілях).

10. Гаврилюк А. Ф., Яковчук Р. С., Субота А. В. Аналіз пожежної небезпеки витoku водню з електромобілів на паливних елементах. *Пожежна*

безпека. 2022. №41. С. 47–56. (Здобувачем досліджено та отримано залежність яка дозволяє визначити тривалість витікання водню з балонів електромобілів, які використовують паливні елементи).

11. Гаврилюк А. Ф. Визначення параметрів і дій при пожежах електромобілів на водневих паливних елементах. *Комунальне господарство міст*. 2023. №1 (175). С.118–124.

12. Гаврилюк А. Ф., Васильєва О. Е. Аналіз стану протипожежного захисту електромобілів. *Пожежна безпека*. 2023. №42. С. 32–42. (Здобувачем досліджено вітчизняні та міжнародні стандарти, які регламентують вимоги до випробувань силових батарей електромобілів, а також причини резонансних пожеж електромобілів у світі).

13. Гаврилюк А. Ф. Дослідження показників, які описують процеси горіння електромобілів. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. 2023. № 2. С. 57–70.

14. Гаврилюк А. Ф., Яковчук Р. С. Методика експериментальних досліджень поведінки літій-іонних батарей під дією відкритого полум'я. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2023. №2 (16). С. 32–41. (Здобувачем розроблено, обґрунтовано та запропоновано методу експериментальних досліджень елементів силових батарей електромобілів щодо пожежної небезпеки при дії відкритим полум'ям).

15. Гаврилюк А. Ф., Яковчук Р. С., Лемішко М. В. Експериментальні дослідження елементів силової батареї tesla model s на предмет пожежної небезпеки. *Пожежна безпека*. 2023. №43. С. 50–62. (Здобувачем здійснено обробку, узагальнення та опис отриманих експериментальних даних при польовому дослідженні елементів силової батареї електромобіля відкритим полум'ям).

16. Гаврилюк А. Ф. Обґрунтування найбільш значущих критеріїв пожежної небезпеки силових літій-іонних батарей електромобілів. *Вісник ЛДУ БЖД*. 2023. №42. С. 81–90.

17. Гаврилюк А. Методика експериментальних досліджень пожежної небезпеки силових літій-іонних батарей електромобілів під дією нагрівальної панелі. *Комунальне господарство міст*. 2024. №1 (182). С. 180–186.

18. Гаврилюк А. Ф., Яковчук Р. С. Експериментальні дослідження модулів силової батареї tesla model s на предмет пожежної небезпеки. *Пожежна безпека*. 2024. № 44. С. 5–12. (Здобувачем здійснено експериментальні дослідження впливу відкритого полум'я на модуль літій-іонного акумулятора електромобіля Tesla model s, а також виявлено та описано особливості розвитку термодеструктивних процесів).

19. Гаврилюк А. Ф., Яковчук Р. С. Методика експериментальних досліджень модулів силових батарей електромобілів на предмет пожежної небезпеки. *Вісник ЛДУ БЖД*. 2024. №29. С. 100–109. (Здобувачем розроблено та

описано методику експериментальних досліджень модулів силових батарей електромобілів на предмет пожежної небезпеки).

20. Гаврилюк А. Ф., Ковалишин В. В., Яковчук Р. С. Ефективність використання переносних вогнегасників при гасінні літій-іонних батарей. *Комунальне господарство міст*. 2024. №4 (185). С.166–171. (Здобувачем проведено експериментальне дослідження впливу різних вогнегасних речовин найпоширеніших переносних вогнегасників в Україні на ефективність гасіння пожеж літій-іонних акумуляторних батарей електромобілів та узагальнено отримані результати).

Стаття, яка додатково відображає наукові результати дисертації

21. Гаврилюк А. Ф. Дослідження паливної та еквівалентної економності автомобілів з традиційними та альтернативними видами пального. *Наукові праці ВНТУ*. 2019. №2. С. 1–8.

Патенти на корисну модель

22. Гаврилюк А. Ф., Гашук П. М., Домінік А. М., Ренкас А. А., Руденко Д. В., Товарянський В. І., Оленюк Ю. Р., Підгородецький Я. І., Швець М. М. Установка автоматичного пожежогасіння електромобілів. *Патент України на корисну модель №141239*, опубл. 25.03.2020, Бюл. №6.

23. Гаврилюк А. Ф., Домінік А. М., Товарянський В. І., Лемішко М. В. Автоматична аерозольна установка пожежогасіння транспортних засобів. *Патент України на корисну модель №134813*, опубл. 10.06.2019, Бюл. №11.

Наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

24. Гаврилюк А. Ф., Ганченко І. Ю. Шляхи підвищення протипожежного захисту колісних транспортних засобів *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку систем безпеки життєдіяльності»*. Львів, 2017. С. 19–20.

25. Гаврилюк А. Ф., Паснак І. В., Ганченко І. Ю. Удосконалення протипожежного захисту транспортних засобів *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*. Черкаси, 2017. С. 116–117.

26. Гаврилюк А. Ф. Моделювання іскрових розрядів бортових електромереж як чинників впливу на пожежну небезпеку транспортних засобів *Матеріали XIX Всеукраїнської науково-практичної конференції (за міжнародною участю) «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах»*. Київ, 2017. С. 70–73.

27. Гаврилюк А. Ф. Дослідження внутрішнього опору акумуляторної батареї як чинника впливу на величину струму короткого замикання

транспортних засобів *Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*. Черкаси, 2018. С. 243–244.

28. Гаврилюк А. Ф., Тимошенко Ю. В. До питання тенденцій сучасних електромобілів *Матеріали ХІІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності»*. Львів, 2018. С. 69–70.

29. Гаврилюк А. Ф. Екологічна небезпека літій-іонних батарей транспортних засобів *Матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна небезпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід та перспективи»*. Львів, 2018. С. 165.

30. Гаврилюк А. Ф., Лемішко М. В. Пожежна небезпека літій-іонних батарей електромобілів *Матеріали ХІV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку систем безпеки життєдіяльності»*. Львів, 2019. С. 33–34.

31. Гаврилюк А. Ф. Принципова схема реалізації технічних засобів для гасіння пожежі електромобілів *Матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист»*. Черкаси, 2019. С. 141–144.

32. Гаврилюк А. Ф., Назаровець О. Б. Застосування мікроструктурного фазового аналізу провідників бортової електромережі транспортних засобів при дослідженні їх загорянь *Круглий стіл «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням»*. Харків, 2019. С. 28–30.

33. Гаврилюк А. Ф., Товарянський В. І. Принципова схема аерозольної установки пожежогасіння транспортних засобів *21 Всеукраїнської науково-практичної конференції (з міжнародною участю) «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах»*. Київ, 2019. С. 61–63.

34. Гаврилюк А. Ф. Аналіз причин виникнення пожеж колісних транспортних засобів *Матеріали ХІ Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*. Черкаси, 2020. С. 16–18.

35. Gawryliuk A., Dubasiuk W. Udoskonalenie metod ochrony przeciwpożarowej pojazdów. *ІІІ Międzynarodowa Konferencja «Bezpieczeństwo, zarządzanie, medycyna i kultura fizyczna»*. Gdańsk, 2020. С. 68–94.

36. Гаврилюк А., Лемішко М. Електромобілі: конструювання та експлуатація *Матеріали Другої Всеукраїнської науково-технічна інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем»*. Рівне, 2020. С. 116–118.

37. Гаврилюк А., Лемішко М. Електромобілі. Перспектива розвитку *Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту»*. Кременчук, 2020. С. 210–217.

38. Гаврилюк А. Ф. Обґрунтування та розроблення системи запобігання затоплення автомобілів *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами»*. Харків, 2020. С. 280–282.

39. Гаврилюк А. Ф. Обґрунтування та розроблення системи аварійного знеструмлення транспортного засобу *Матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції «Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти»*. Кривий Ріг, 2020. С. 76–77.

40. Гаврилюк А. Ф., Лемішко М. В. Аналіз способів контролю температури при заряджанні тягових батарей електромобілів *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Енергоефективність, екологічність та безпечність автомобіля»*. Львів, 2020. С. 71–75.

41. Гаврилюк А., Лемішко М. Токсичні викиди фтористого газу від пожеж силових-літій-іонних акумуляторів електромобілів. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності *Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку систем безпеки життєдіяльності»*. Львів, 2021. С. 67–69.

42. Гаврилюк А., Лесюк Д. Аналіз динаміки електричних і гібридних автомобілів в Україні *Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності»*. Львів, 2021. С. 71–73.

43. Rudyk Y., Kuts V., Gavryliuk A., Naumchuk N. Required safety component of automotive cyberphysical systems. *20 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology*. 2020. P. 338–342.

44. Гаврилюк А. Ф. Аналіз особливостей виникнення, розвитку та гасіння пожеж електричних та гібридних автомобілів *Матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації безпека та захист»*. Черкаси, 2021. С. 190–192.

45. Гаврилюк А. Ф. До питання встановлення причин пожеж транспортних засобів *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи телекомунікацій»*. Київ, 2022. С. 103–106.

46. Гаврилюк А., Дуда Ю. Виклики використання електромобілів *Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності»*. Львів, 2022. С. 189–191.

47. Гаврилюк А., Верхолюк Ю. Пожежна небезпека електромобілів на водневому паливі *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції*

«Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених». Черкаси, 2022. С. 16–17.

48. Rudyk Y., **Gavryliuk A.**, Kuts V., Yatsuk, V., Vinogradov, S. Estimations of Equivalent Fuel Savings of Electric Vehicles. *2022 IEEE 9th International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2022 - Proceedings*. 2022. P. 3877–390.

49. **Гаврилюк А.**, Гриньова А. Аналіз пожеж електромобілів та причин їх виникнення *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених»*. Черкаси, 2022. С. 16–17.

50. **Гаврилюк А. Ф.** Аналіз проведення аварійно-рятувальних робіт при виникненні ДТП електромобілів *Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції «Безпека дорожнього руху в умовах воєнного стану»*. Кривий Ріг, 2022. С.34–35.

51. **Гаврилюк А. Ф.** Електромобілі. Тенденції та небезпеки *Матеріали XVIII Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених «Проблеми та перспективи розвитку систем безпеки життєдіяльності»*. Львів, 2023. С. 131–135.

52. Rudyk Y., **Gavryliuk A.**, Kuts V., Yatsuk, V., Vinogradov, S. Comparative assessment of the efficiency of some car drives. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. MCEME-2022, 1277*. 2023. P.1–6.

53. **Гаврилюк А. Ф.**, Яковчук Р. С. Особливість проведення вогневих експериментальних досліджень елементів силових батарей електромобілів. *Третя Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми пожежної безпеки 2024»*. Харків, 2024. С. 111–113.

54. **Гаврилюк А. Ф.**, Яковчук Р. С. Особливості FDS моделювання при дослідженні пожежної небезпеки силових літій-іонних батарей електромобілів. *Матеріали XIX Міжнародної науково-практична конференція молодих вчених «Проблеми та перспективи розвитку систем безпеки життєдіяльності»*. Львів, 2024. С. 840–843.

55. **Гаврилюк А. Ф.**, Ковалишин В. В., Яковчук Р. С. Аналіз ефективності використання переносних вогнегасників при гасінні літій-іонних акумуляторів. *Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференція «Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення»*. Львів, 2024. С. 144–145.

10. Впровадження наукових досліджень в практику. Результати досліджень впровадженні у:

- діяльність Департаменту запобігання надзвичайним ситуаціям Державної служби України з надзвичайних ситуацій під час розроблення рекомендації щодо

заходів безпеки з використання акумуляторних батарей у житлових приміщеннях в умовах блекаутів (акт упровадження від 24.09.2024 року);

- у навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності при підготовці здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем освіти, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Цивільний захист» при викладанні дисципліни «Організація ліквідації надзвичайних ситуацій та пожеж», а також при викладанні дисципліни «Транспортні засоби з електричним та гібридним приводом» за освітньо-професійною програмою «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» (акт упровадження від 16.12.2024 року);

- у діяльність Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Львівській області в контексті обґрунтування інтенсивності подачі вогнегасних речовин, які будуть використовуватись оперативно-рятувальними підрозділами при гасінні пожеж електромобілів (акт упровадження від 13.10.2024 року);

- у діяльність Товариства з обмеженою відповідальністю «Експертно-технічна компанія» м. Київ (акт упровадження від 10.12.2024 року).

11. Апробація результатів роботи. Основні результати досліджень доповідались, обговорювались та отримали позитивне схвалення на міжнародних та національних науково-практичних конференціях: XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку систем безпеки життєдіяльності» (м. Львів, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024 рр.); IX, XI Міжнародних науково-практичних конференціях «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, 2018; 2020 рр.); III, IV Міжнародних науково-практичних конференціях «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід та перспективи» (м. Львів, 2018, 2021 рр.); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 2019 р.); Круглому столі «Об'єднання теорії та практики – запорука підвищення готовності оперативно-рятувальних підрозділів до виконання дій за призначенням» (м. Харків, 2019 р.); 21-й Всеукраїнській науково-практичній конференції (з міжнародною участю) «Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах» (м. Київ, 2019 р.); III Międzynarodowy Konferencji «Bezpieczeństwo, zarządzanie, medycyna i kultura fizyczna» (м. Гданськ, Польща, 2020 р.); 20 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology, PIC S&T'2020 (м. Харків, 2020 р.); II Всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (м. Рівне, 2020 р.); VII Міжнародній

науково-технічній конференції «Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту» (м. Кременчук, 2020 р.); 20 IEEE International Scientific-Practical Conference «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (м. Львів, 2020 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами» (м. Харків, 2020 р.); XV Міжнародній науково-практичній конференції «Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти» (м. Кривий Ріг, 2020 р.); 16th IEEE International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design «MEMSTECH 2020» (м. Львів, 2020 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Енергоефективність, екологічність та безпечність автомобіля» (м. Львів, 2020 р.); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Розвиток науки і техніки: проблеми та перспективи» (м. Київ, 2021 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених» (м. Черкаси, 2022 р.); IEEE 9th International Conference «Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2022» (м. Львів, 2022 р.); Всеукраїнській науково-практичній онлайн-конференції «Безпека дорожнього руху в умовах воєнного стану» (м. Кривий Ріг, 2022 р.); 3-тій Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми пожежної безпеки 2024» (м. Черкаси, 2024 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення» (м. Львів, 2024 р.).

12. Відповідність дисертації паспорту спеціальності. Дисертація відповідає паспорту спеціальності 21.06.02 – пожежна безпека, а саме п. 6: дослідження з розробки систем і елементів забезпечення протипожежного захисту об'єктів різного призначення, підвищення їх надійності та ефективності, методи обґрунтування організаційно-технічних протипожежних заходів (пожежна охорона, система забезпечення пожежної безпеки, пожежна профілактика, системи запобігання пожеж, правила пожежної безпеки, нормування протипожежних вимог, протипожежний стан і режим об'єктів, пожежний нагляд, пожежно-технічне обстеження, системи протипожежного водопостачання, пожежне оперативне обслуговування, пожежогасіння, системи керування евакуацією, пожежно-рятувальні роботи, газодимозахисне забезпечення, системи газодимозахисту).

13. Характеристика здобувача, його шлях у науці, ступінь наукової зрілості. Проведені дослідження та опубліковані наукові праці характеризують ГАВРИЛЮКА Андрія Федоровича як кваліфікованого фахівця і дослідника. Здобувач на високому рівні володіє методологією наукових досліджень, вміє критично аналізувати сучасні наукові проблеми. Йому притаманне абстрактне

мислення, вміння ставити завдання та пропонувати нестандартні шляхи їх вирішення, виділяти головні та вторинні аспекти. ГАВРИЛЮК Андрій Федорович є сформованим, кваліфікованим науковцем з глибоким теоретичним та практичним рівнем підготовки за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека.

Висновок

Враховуючи актуальність теми дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, впровадження їх у практику, достатню повноту викладення матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях, дотримання принципів академічної доброчесності, відповідність роботи вимогам п. 6, 7, 8, 9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 року № 1197, рекомендувати дисертаційну роботу ГАВРИЛЮКА Андрія Федоровича на тему “Розвиток наукових основ протипожежного захисту електричних колісних транспортних засобів (електромобілів)” до розгляду у спеціалізованій вченій раді на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека.

Рецензенти:

Завідувач кафедри екологічної
безпеки, доктор
сільськогосподарських наук, професор



Андрій КУЗИК

Професор кафедри інформаційних технологій
та систем електронних комунікацій,
доктор технічних наук, професор



Євген МАРТИН

Професор кафедри фізики
та хімії горіння,
доктор технічних наук, доцент



Олена ЛАВРЕНЧУК