

*О. В. Лазаренко, В. - П. О. Пархоменко, О. В. Шкарапута
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності*

РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ВИДАМИ ПАЛЬНОГО

Вступ. Зростання попиту та використання транспортних засобів на альтернативних видах пального ставить перед людством низку задач, що необхідно вирішувати. Починаючи від розробки та впровадження технологічних процесів та алгоритмів безпечного виробництва, транспортування, зберігання у великих об'ємах елементів живлення (аккумуляторних батарей) та енергоносіїв під високим тиском (резервуарів водню) та закінчуючи процесом кінцевої переробки та можливості повторного використання вищезазначених складових транспортних засобів на альтернативних видах пального.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є оцінити готовність пожежно-рятувальних підрозділів до дій за призначенням, а саме – до ліквідації можливих загроз при виникненні (потенційних) надзвичайних ситуацій (НС) на транспортних засобах, що працюють від альтернативних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно: визначити актуальну групу транспортних засобів на альтернативних видах пального; описати основну небезпеку таких транспортних засобів; розробити відповідні концептуальні (імітаційні) моделі дій пожежно-рятувальних підрозділів у випадку дій за призначенням на подібних транспортних засобах.

Методи. Для досягнення поставленої мети та задач дослідження було використано теоретичні методи дослідження, що включали аналіз основних небезпек транспортних засобів на альтернативних видах пального, узагальнення отриманих результатів дослідження з подальшою їх систематизацією для досягнення поставленої мети дослідження.

Результати. За результатами літературного огляду було визначено імовірні небезпеки, пов'язані з ліквідацією НС на електричних транспортних засобах (ЕТЗ) та автомобілях на водневому паливі (АВП). З метою забезпечення безпечних умов праці та швидкого реагування особового складу пожежно-рятувальних підрозділів на ліквідації імовірних НС було розроблено концептуальні (імітаційні) моделі дій рятувальників на випадок: загрози загорання акумуляторної батареї ЕТЗ, загрози займання резервуарів з воднем в АВП, загрози займання акумуляторної батареї та салону АВП, загрози витоку водню без подальшого горіння.

Висновки. Представлені концептуальні (імітаційні) моделі дій особового складу пожежно-рятувальних підрозділів у випадку виникнення імовірних небезпек, пов'язаних з ЕТЗ та АВП, дають наукове підґрунтя для подальшого розвитку та розробки системи підтримки та прийняття рішення, яка може бути виражена у вигляді прикладного програмного забезпечення; розробки моделі життєвого циклу проектів ліквідації НС на транспортних засобах, що працюють від альтернативних джерел енергії.

Ключові слова: концептуальна модель дій рятувальників, автомобілі на водневому паливі, електричні транспортні засоби, небезпека.

*О. В. Lazarenko, V. - P. O. Parkhomenko, O. V. Shkaraputa
Lviv State University of Life Safety*

DEVELOPMENT OF MODELS FOR ELIMINATION OF EMERGENCIES ON VEHICLES WITH ALTERNATIVE FUELS

Introduction. The growing demand and use of vehicles on alternative fuels pose several challenges to humanity. Starting from the development and implementation of technological processes and algorithms for safe production, transportation, storage in the large capacity of lithium-ion elements (batteries) and energy sources under high pressure (hydrogen cylinders) and ending with the process of final processing and reuse of the above-mentioned components of vehicles on alternative sources energy.

The purpose and objectives of the study. The purpose of the work is to research the readiness and activities of fire and rescue units for acting as intended, namely - the elimination of possible (potential) threats in the event of emergencies on vehicles with alternative fuels.

To achieve this goal it is necessary to determine the current group of vehicles on alternative fuels; describe the main danger of such vehicles; to develop an appropriate conceptual (imitation) model of actions of fire and rescue units in case of actions on purpose on similar vehicles.

Methods. To achieve the goal and objectives of the study used theoretical research methods, which included analysis of the main dangers of vehicles on alternative fuels, generalization of the results of the study with their following systematization to achieve the goal of the study.

Results. According to the literature review results, the probable hazards associated with the elimination of emergencies at EV and HFCEV were identified. To protect the personal fire and rescue units involved in the elimination of such emergencies, an algorithm of rescuers' actions was developed in case of the threat of fire of the EV battery, the threat of ignition of hydrogen tanks in the HFCEV, the threat of ignition of the battery.

Conclusions. The presented conceptual (imitation) model of actions of fire and rescue units in case of possible dangers associated with EV and HFCV provide a scientific basis. For further development and development of a decision support system that can be expressed in the form of application software. For further development of a life cycle model of emergency response projects on vehicles with alternative fuels.

Keywords: A conceptual model of rescuers actions, hydrogen fuel cell vehicles, electric vehicle, hazardous.

Вступ. Поступове, але невпинне зростання кількості транспортних засобів на альтернативних видах пального (електроавтомобілі, автомобілі на водневому паливі, автомобілі з гібридними двигунами та інші) з кожним роком стає об'єктом всебічних досліджень у різних наукових напрямках. Згідно з даними Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), відсоток електромобілів у світовому ринку легкових автомобілів досягне 15% до 2040 року. Про це йдеться в щорічному огляді організації World Energy Outlook 2019. Станом на 2020 рік це співвідношення становить 5%, коли у 2009 році становило – 0,8 % [1].

Зростання попиту та використання транспортних засобів на альтернативних видах пального ставить перед людством низку задач необхідних до вирішення. До них можна віднести такі життєві цикли: розробка та впровадження технологічних процесів і алгоритмів (імітаційних моделей) безпечного виробництва; транспортування та зберігання у великих об'ємах елементів живлення (акумуляторних батарей) і енергоносіїв під високим тиском (водню); та закінчуючи процесом кінцевої переробки і можливості повторного використання вищезазначених складових транспортних засобів на альтернативних видах пального.

Постановка проблеми. Однак актуальними питаннями сьогодення є можливість безпечного використання та експлуатації існуючих транспортних засобів на альтернативних джерелах палива. Проблемі відсутності в більшості країн світу, та в Україні зокрема, законодавчої та нормативної бази стосовно інструкцій, алгоритмів, будівельних норм, технічних умов тощо, щодо облаштування автопаркінгів та гаражів для електроавтомобілів, систем безпеки, можливості візуальної ідентифікації подібних транспортних засобів присвячена низка робіт [2, 3, 4]. Особливо, необхідно відмітити, відсутність будь-якого чіткого порядку дій рятувальників під час проведення розвідки чи ліквідації НС на транспортних засобах, що працюють від альтернативних джерел енергії, на всіх етапах дій за призначенням,

а саме від моменту повідомлення до успішної ліквідації.

Отже *метою роботи* є оцінка готовності та діяльності пожежно-рятувальних підрозділів до дій за призначенням, а саме – ліквідації можливих загроз при виникненні (потенційних) НС на транспортних засобах, що працюють від альтернативних джерел палива.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити актуальну групу транспортних засобів на альтернативних видах пального;
- описати основну небезпеку таких транспортних засобів;
- розробити відповідні концептуальні (імітаційні) моделі дій особового складу пожежно-рятувальних підрозділів у випадку дій за призначенням на подібних транспортних засобах.

Виклад основного матеріалу. У міжнародному стандарті ISO 17840 [5], який був розроблений саме для можливості швидкої ідентифікації транспортних засобів на альтернативних видах пального, сьогодні існує досить значна кількість різновидів транспортних засобів, а саме: на зрідженому вуглеводневому газі, на стисненому природному газі, електричні транспортні засоби (далі ЕТЗ), електричні транспортні засоби з гібридним двигуном, автомобілі на водневому паливі (далі АВП), транспортні засоби на зрідженому природному газі, транспортні засоби на диметил етері (C_2H_6O). Однак, зважаючи на проведені наукові дослідження безпеки та особливостей проведення гасіння [6-12], серед різноманіття вищезазначених транспортних засобів можна виділити їх два основних види, а саме: електричні транспортні засоби та автомобілі на водневому паливі.

В роботах [7, 10, 11, 12] було описано результати можливих небезпек, що можуть представляти літій-іонні елементи живлення ЕТЗ, та різновиди безпеки використання стисненого водню за умови його постійного використання у якості джерела енергії в АВП.

Фактично основною небезпекою ЕТЗ є наявність великої кількості літій-іонних елементів

живлення, які є носіями потужного електричного заряду, що в свою чергу є потенційним джерелом інтенсивного та довготривалого горіння, характер та поведінка якого значно відрізняється від традиційно відомого. Основною особливістю проведення гасіння акумуляторних батарей ЕТЗ є необхідність подачі значної кількості води протягом тривалого терміну для повноцінного її охолодження та припинення термічної ланцюгової реакції в літій-іонних елементах живлення.

Відповідно до конструктивних особливостей та специфіки в АВП можна виділити такі можливі небезпеки:

- вибух паливних резервуарів з воднем;
- термічний опік спричинений низькими температурами зберігання водню;
- витікання водню з паливопроводів (резервуара) під високим тиском;

- факельне горіння водню під високим тиском;
- витік водню в приміщенні (гаражах, закритих паркінгах) без подальшого горіння;
- утворення газоповітряної горючої хмари;
- накопичення водню в суміжних приміщеннях.

Враховуючи описанні вище всі основні види небезпек, пов'язаних з АВП та ЕТЗ, можна виділити чотири імовірних сценарії НС (що можуть призвести до погіршення оперативної обстановки на місці події та виникнення вищезазначених небезпек) та сформулювати відповідні імітаційні (концептуальні) моделі дій рятувальників з врахуванням рекомендацій [13]:

1. Загрози загорання акумуляторної батареї ЕТЗ (рис.1)

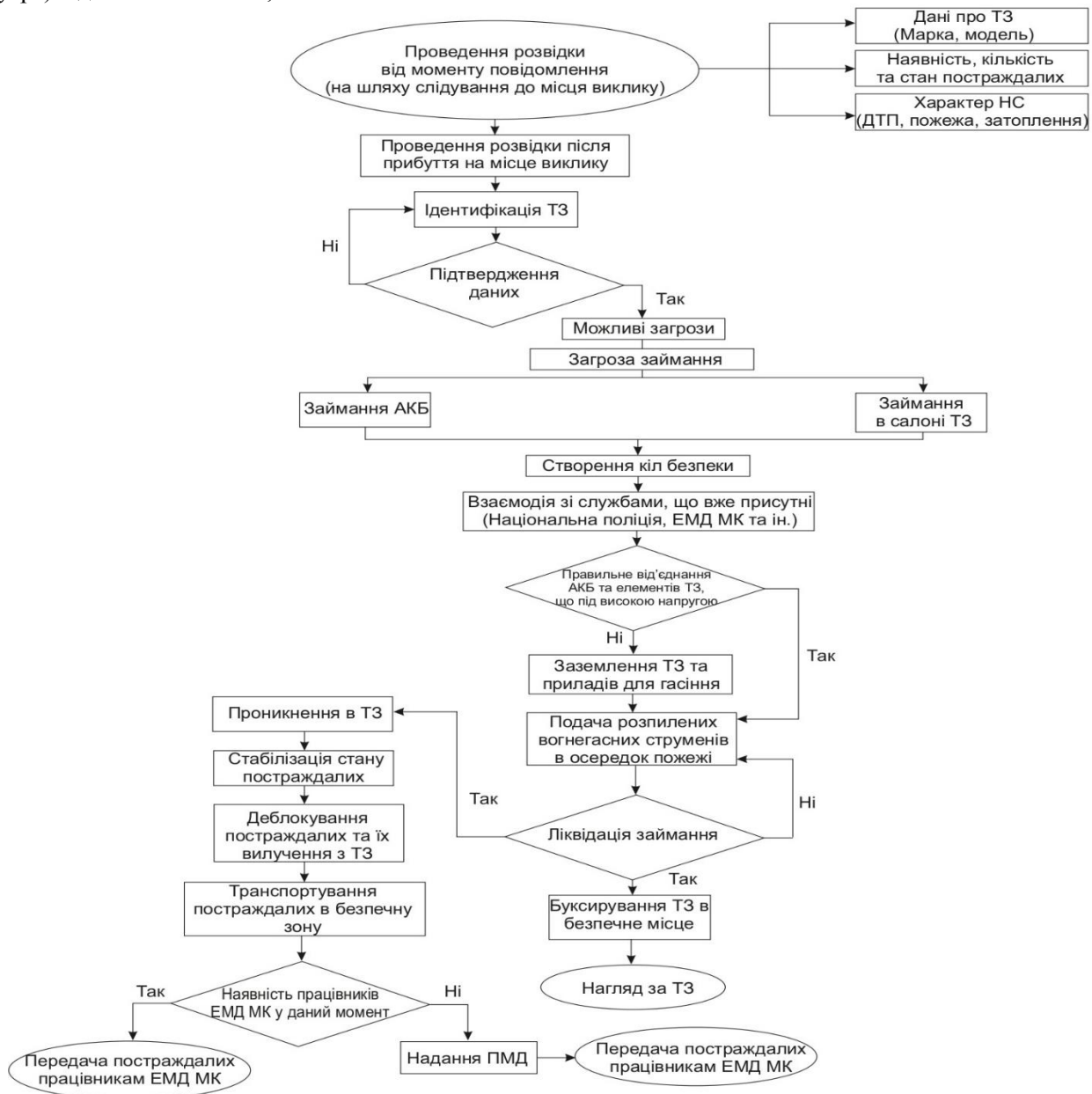


Рисунок 1 – Концептуальна (імітаційна) модель дій рятувальників під час імовірної загрози займання акумуляторної батареї ЕТЗ

2. Загрози займання резервуарів з воднем в АВП (рис.2)

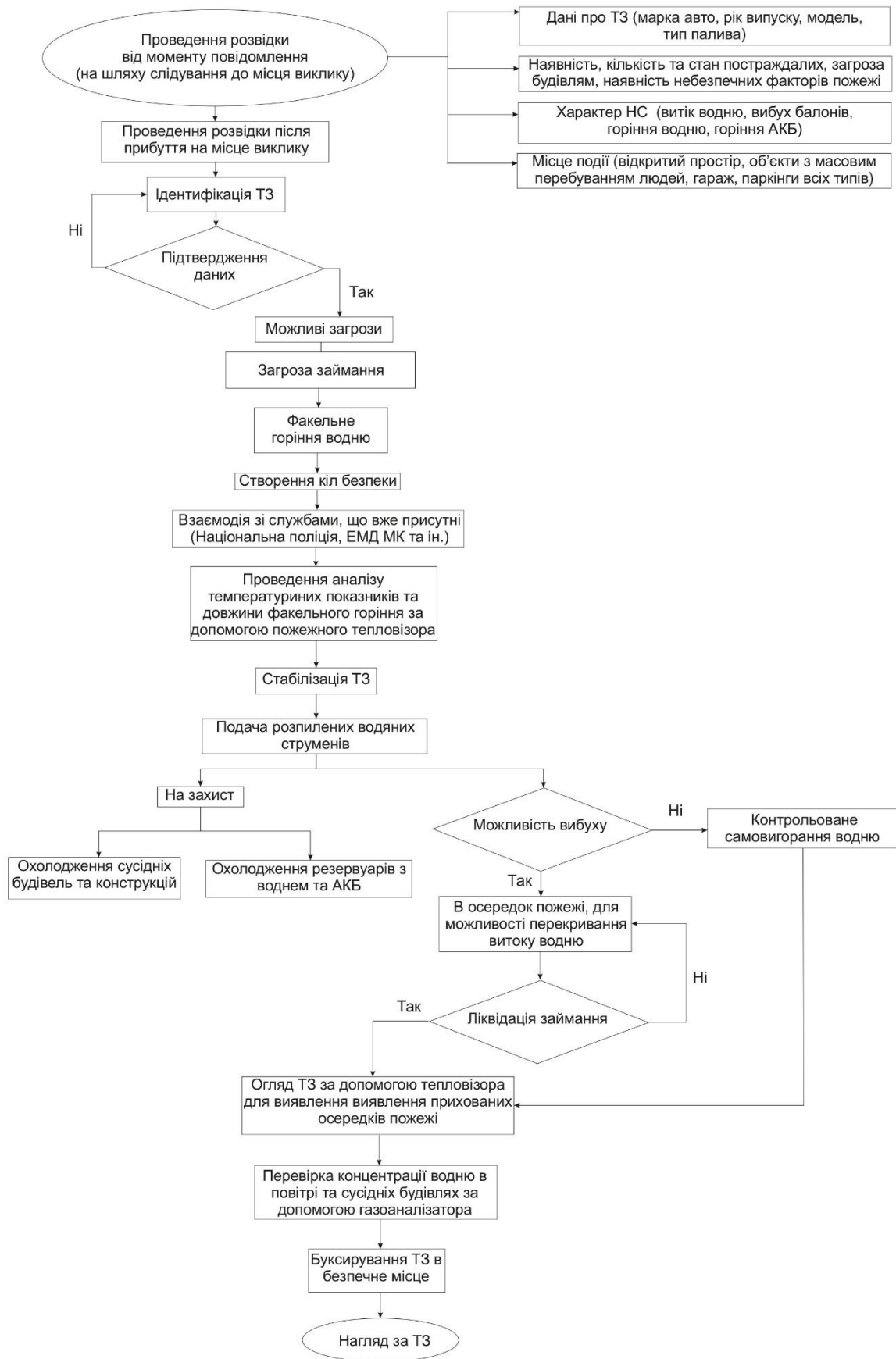


Рисунок 2 – Концептуальна (імітаційна) модель дій рятувальників під час імовірної загрози займання резервуарів з воднем в АВП

3. Загрози займання акумуляторної батареї та салону АВП (рис.3)

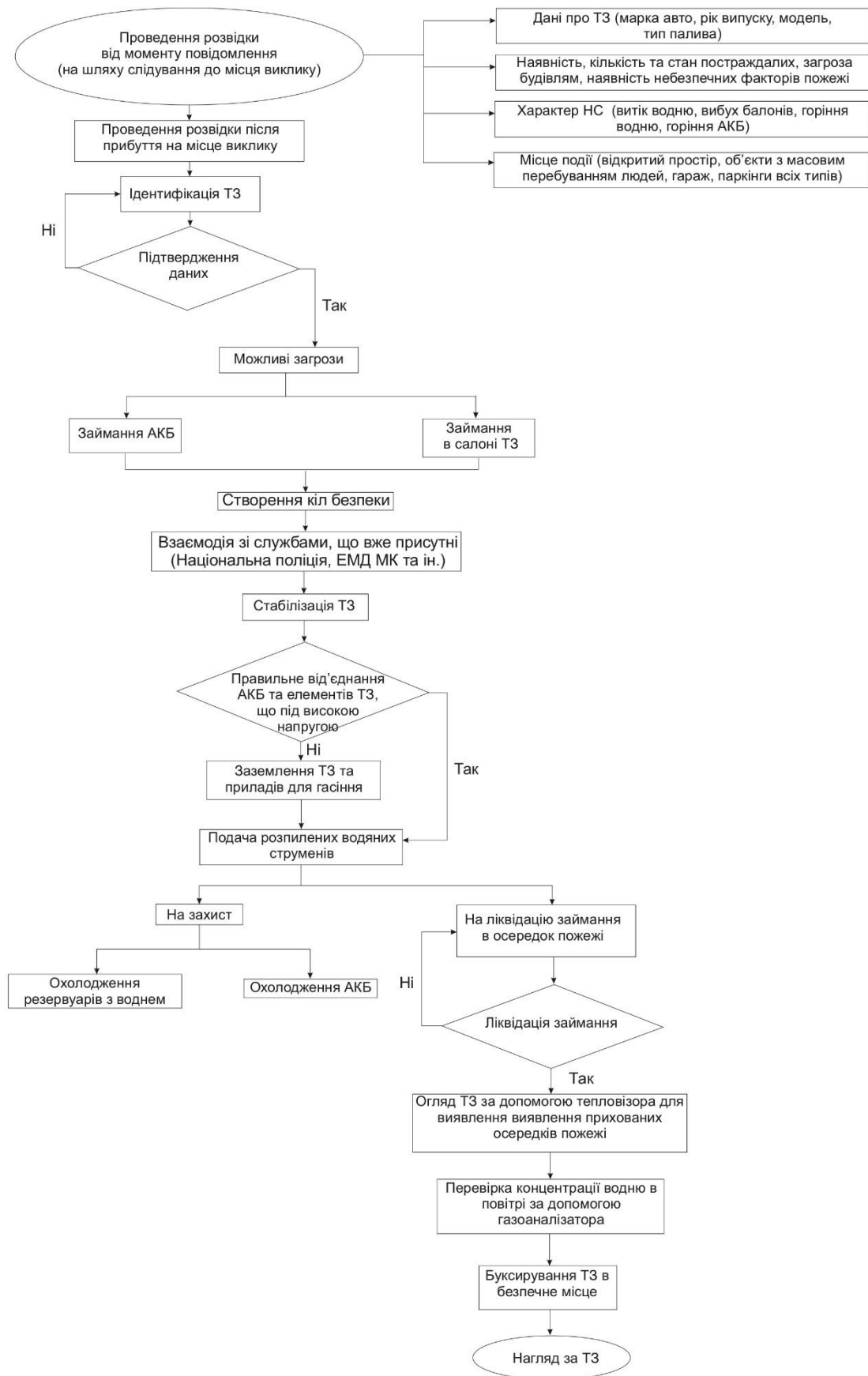


Рисунок 3 – Концептуальна (імітаційна) модель дій рятувальників під час імовірної загрози займання акумуляторної батареї та салону АВП

4. Загрози витоку водню без подальшого горіння (рис.4)

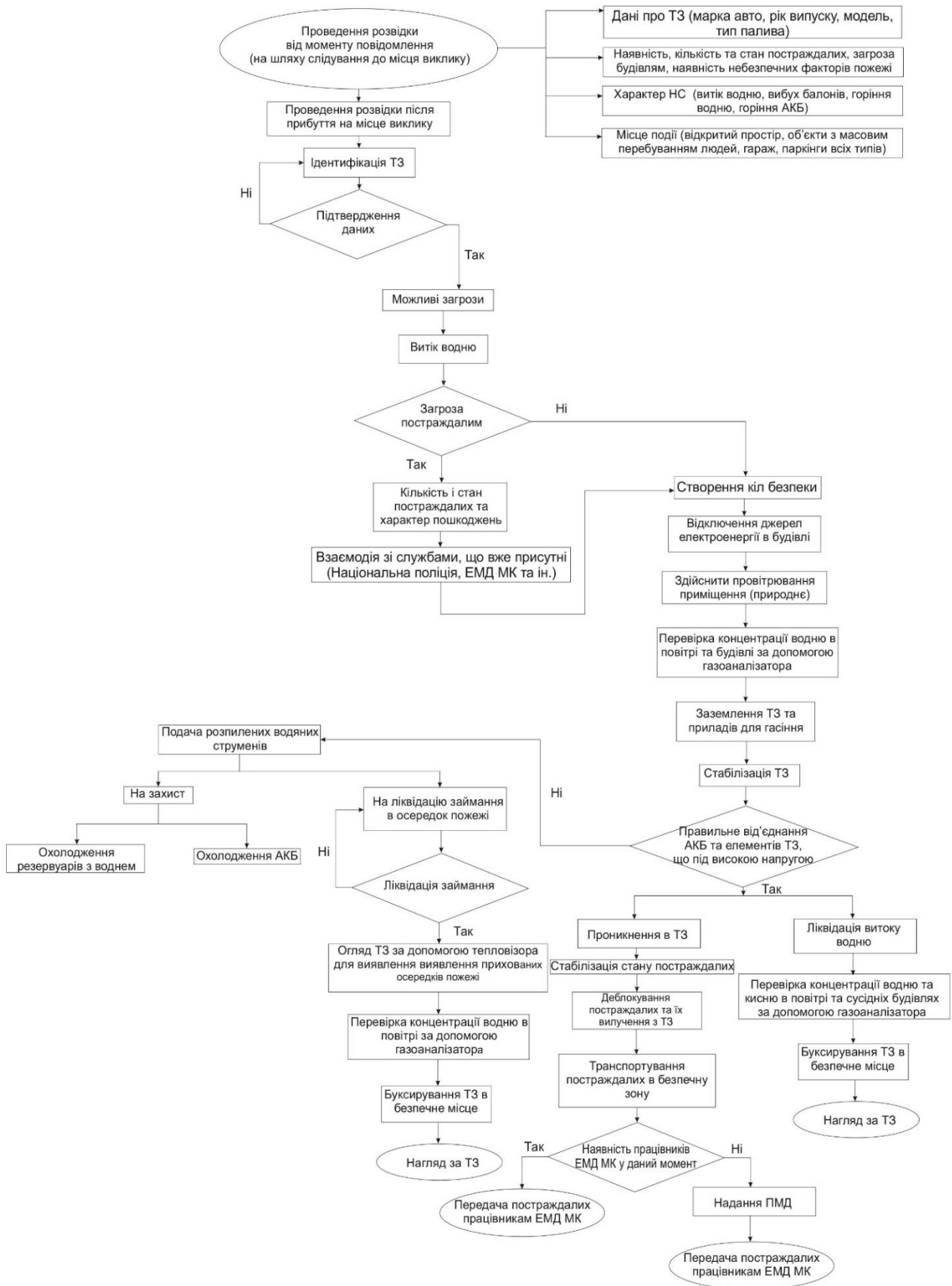


Рисунок 4 – Концептуальна (імітаційна) модель дій рятувальників під час імовірної загрози витоку водню без подальшого горіння

Відповідно до рисунків 1-4 розміри та кількість кіл безпеки коригуються керівником аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт (АРИР) залежно від обстановки на місці виникнення імовірної НС [13].

Представлені концептуальні (імітаційні) моделі дій особового складу пожежно-рятувальних підрозділів (керівника гасіння пожежі) на प्रतिвагу загальній послідовності дій («чеклисту») дають змогу з самого початку виконати якісну розвідку місця НС (пожежі) та провести її ліквідацію з урахуванням можливих змін в оперативній обстановці та додаткових обставин. Додатково, слідування зазначеним концептуальним (імітаційним) моделям дій дає змогу здійснити якісний розбір та аналіз дій рятувальників по завершенні ліквідації НС з метою усунення можливих недоліків роботи чи подальшого удосконалення, доповнення концептуальних (імітаційних) моделей, відповідно до реальних умов роботи та можливого сценарію НС.

Висновок. Таким чином, в роботі узагальненні вже існуючі знання та практичний досвід та надані додаткові рекомендації дій рятувальників стосовно ліквідації надзвичайних ситуацій на транспортних засобах з альтернативними джерелами енергії (ЕТЗ та АВП). Зазначені рекомендації та досвід ліквідації подібних НС сформовані та узагальненні у вигляді концептуальних (імітаційні) моделей, що є новим науково-практичним надбанням.

Представлені концептуальні (імітаційні) моделі дій пожежно-рятувальних підрозділів у випадку виникнення імовірних небезпек, пов'язаних з ЕТЗ та АВП, дають наукове підґрунтя для:

- проведення якісної оцінки дій рятувальників під час проведення навчання та ліквідації реальних подібних НС;

- подальшого розвитку та розробки системи підтримки та прийняття рішення, яка може бути виражена у вигляді прикладного програмного забезпечення;

- розробки моделі життєвого циклу проєктів ліквідації НС на транспортних засобах, що працюють на альтернативних видах пального, у сфері управління проєктами, програмами та портфелями проєктів.

Список літератури:

1. Global EV outlook 2021. Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.
2. Electric road vehicles in the European Union Trends, impacts and policies. Режим доступу: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/637895/EPRS_BRI\(2019\)637895_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/637895/EPRS_BRI(2019)637895_EN.pdf).
3. Electric Vehicles: Key Trends, Issues, and Considerations for State Regulators. Режим доступу:

<https://pubs.naruc.org/pub/32857459-0005-B8C5-95C6-1920829CABFE>.

4. G. Trencher A. Edianto Drivers and Barriers to the Adoption of Fuel Cell Passenger Vehicles and Buses in Germany. *Energies* 2021, Vol. 14(4), pp. 833; <https://doi.org/10.3390/en14040833>.

5. ISO 17840 «Road vehicles - Information for first and second responders». Режим доступу: <https://www.iso.org/ics/43.020/x/>.

6. Lazarenko O., Loik V., Shtain B., Riegert D. Research on the Fire Hazards of Cells in Electric Car Batteries. *Bezpieczeństwo i technika pożarnicza*, 2018. Vol. 52. Issue 44. P.58-67. <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.7>.

7. Лазаренко О.В., Синельников О.Д., Биков О.М., Биков А.С. Пожежогасіння та проведення інших невідкладних робіт в електрокарах. *Пожежна безпека: зб. наук. праць*. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. №34. С. 54-58. <https://doi.org/10.32447/10.32447/20786662.34.2019.09>

8. Frano Barbir Safety issues of hydrogen in vehicles. Режим доступу: <https://courses.engr.illinois.edu/npre470/sp2019/web/readings/Hydrogen%20safety%20issues.pdf>.

9. Sébastien Bertau D6.3 HYRESPONSE European Emergency Response. Режим доступу: http://www.hyresponse.eu/public_deliverables/.

10. D. Cirrone Report on hydrogen hazards and risks in tunnels and similar confined spa, 2019. Режим доступу: https://hytunnel.net/wordpress/wp-content/uploads/2019/09/HyTunnel-CS_D1.2_Risks-and-Hazards.pdf.

11. Molkov, V. Fundamentals of Hydrogen Safety Engineering, 2012. Режим доступу: <https://www.arma.org.au/wp-content/uploads/2017/03/fundamentals-of-hydrogen-safety-engineering-i.pdf>.

12. Лазаренко О.В., Пархоменко В.-П.О, Сукач Р.Ю., Кусковець А.С., Білоножка Б. В. Конструктивні особливості та безпека автомобілів на водневому паливі. *Пожежна безпека: зб. наук. праць*. Львів: ЛДУ БЖД, 2020. №37. С. 52-57. <https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.08>

13. Про затвердження Методичних рекомендацій щодо порядку дій аварійно-рятувальних формувань ДСНС під час ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (небезпечних подій), пов'язаних із дорожньо-транспортними пригодами: Наказ ДСНС України від 28 січ. 2020р. №80. *Державна служба України з надзвичайних ситуацій*. 2020. 28 січ. <https://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/29/3/80-28.01.2020.pdf>

References:

1. Global EV outlook 2021. Режим доступу: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.

2. Electric road vehicles in the European Union Trends, impacts and policies. Режим доступу: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/637895/EPRS_BRI\(2019\)637895_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/637895/EPRS_BRI(2019)637895_EN.pdf).
 3. Electric Vehicles: Key Trends, Issues, and Considerations for State Regulators. Режим доступу: <https://pubs.naruc.org/pub/32857459-0005-B8C5-95C6-1920829CABFE>.
 4. G. Trencher A. Edianto Drivers and Barriers to the Adoption of Fuel Cell Passenger Vehicles and Buses in Germany. *Energies* 2021, Vol. 14(4), pp. 833; <https://doi.org/10.3390/en14040833>.
 5. ISO 17840 «Road vehicles - Information for first and second responders». Режим доступу: <https://www.iso.org/ics/43.020/x/>.
 6. Lazarenko O., Loik V., Shtain B., Riegert D. (2018) Research on the Fire Hazards of Cells in Electric Car Batteries. *Bezpieczeństwo i technika pożarnicza. BITP. Vol. 52.* (Issue 44), pp.58-67. <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.7>.
 7. Lazarenko O.V., O. D. Synelnikov, I. M. Bykov, A. S. Kuskovets (2019) Pozhezhozasinnia ta provedennia inshykh nevidkladnykh robit v elektrokarakh [Fire extinguishing and other urgent work in electric cars] *Fire safety Vol. 34, pp 54-58.* <https://doi.org/10.32447/10.32447/20786662.34.2019.09>
 8. Frano Barbir Safety issues of hydrogen in vehicles. Source: <https://courses.engr.illinois.edu/npre470/sp2019/web/readings/Hydrogen%20safety%20issues.pdf>
 9. Sébastien Bertau D6.3 HYRESPONSE European Emergency Response. Source: http://www.hyresponse.eu/public_deliverables/
 10. D. Cirrone (2019) Report on hydrogen hazards and risks in tunnels and similar confined spa. Source: https://hytunnel.net/wordpress/wp-content/uploads/2019/09/HyTunnel-CS_D1.2_Risks-and-Hazards.pdf.
 11. Molkov, V (2012) Fundamentals of Hydrogen Safety Engineering. Source: <https://www.arma.org.au/wp-content/uploads/2017/03/fundamentals-of-hydrogen-safety-engineering-i.pdf>.
 12. Lazarenko O.V., Parkhomenko V.-P.O., Sukach R.Yu., Bilonozhko B.V., Kuskovets A.S. (2020) Konstruktyvni osoblyvosti ta nebezpeka avtomobiliv na vodnevomu palyvi [Design features and hazards of hydrogen fuel cell cars] *Fire safety. Vol. 37, pp 52-57.* <https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.08>
- Order of State Emergency Service of Ukraine about the statement of Methodical recommendations concerning the order of actions of emergency rescue formations of the State Emergency Service during liquidation of consequences of emergencies (dangerous events) connected with road accidents №80. (2020, January 28). *The State Emergency Service of Ukraine*, 2020 [in Ukrainian]. <https://www.dsns.gov.ua/files/2020/1/29/3/80-28.01.2020.pdf>

* **Оглядова стаття**