Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Національний університет цивільного захисту України
Державної служби України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Белюченко Дмитро Юрійович

УДК 621.03.9

ДИСЕРТАЦІЯ

МЕТОДИКА СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПЕРШИМ РЯТУВАЛЬНИМ ПІДРОЗДІЛОМ В УМОВАХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

21.02.03 – цивільний захист
21 – національна безпека
Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Д.Ю. Белюченко
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Стрілець Віктор Маркович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Белюченко Д.Ю. Методика скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.02.03 – Цивільний захист. – Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2020.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачу в галузі цивільного захисту – розроблено оперативно-технічну методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

У вступі обгрунтована актуальність напрямку досліджень за обраною темою; зазначено зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами; сформульована мета і завдання наукового дослідження; розкрита наукова новизна отриманих результатів і практична цінність роботи; наведені дані про особистий внесок здобувача і апробацію результатів дисертації.

У першому розділі АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ СИЛ ТА ЗАСОБІВ проведено аналіз літературних та інформаційних джерел щодо оперативних розгортань аварійно-рятувальних сил та засобів в провідних країнах світу та в Україні. Показано, що завданням наукового дослідження є розробка оперативно-технічної методики скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, яка повинна враховувати як оперативні (рівень підготовленості особового складу та вплив надзвичайної ситуації), так і технічні умови бойової роботи.

У другому розділі РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПЕРШОГО РЯТУВАЛЬНОГО

ПІДРОЗДІЛУ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ТА ОПЕРАТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ МЕТОДИКИ НА ЇЇ ОСНОВІ першочергово були сформовані початкові та граничні умови функціонування розробленої математичної моделі. Потім розкрито процес розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Це дозволило розглянути варіанти застосування сил та засобів у вигляді однофакторних моделей, а також порядок аналізу вагомих коефіцієнтів в однофакторних моделях. На основі ваги отриманих коефіцієнтів визначено порядок експертних оцінок и вибору оперативно-технічних рекомендацій. Це дозволило визначити умови рішення окремих задач, які увійшли до загальної математичної моделі. На основі останньої було створено нову методику скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

У третьому розділі ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПЕРШОГО РЯТУВАЛЬНОГО ПІДРОЗДІЛУ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУТА МЕТОДИКИ, СТВОРЕНОНОЙ НА ЇЇ ОСНОВІ спочатку було описано експериментально-випробувальну базу. Після чого розглянуто виконання на ній експериментальних досліджень часу проведення двох типових варіантів оперативного розгортання оперативно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом та здійснена статистичну оцінку отриманих результатів. Наприкінці оцінено достовірність кожноговаріанта математичної моделі.

В четвертому розділі ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ОПЕРАТИВНИХ РОЗГОРТАНЬ ПЕРШИМ РЯТУВАЛЬНИМ ПІДРОЗДІЛОМ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ по-перше було проаналізовано отримані багатофакторні моделі оперативного розгортання, які враховують клас оперативно-рятувального автомобіля,

рівень підготовленості рятувальників та пору року. Після цього за результатами цього аналізу обґрунтовано оперативно-технічні рекомендації у вигляді нових нормативів оперативного розгортання оперативно-рятувальних автомобілів в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Наприкінці оцінена надійність реалізації розробленої методики.

В п'ятому розділі ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИКИ НА ЇЇ ОСНОВІ виконано обґрунтування рекомендацій особовому складу легких та важких оперативно-рятувальних автомобілів, а також запропоновано пропозиції щодо скорочення часу оперативних розгортань розрахунками неповної комплектації.

Наукова новизна отриманих результатів складається в тому, що:

– *вперше* розроблено математичну модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, що уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша – функціонал, який описує процес оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Друга залежність дозволяє уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя – забезпечує визначення вагових коефіцієнтів при вирішенні трифакторногої задачі (вид пожежно-рятувального автомобіля, підготовка рятувальників, пора року). Четверта – дозволяє оцінити та вибрати оперативно-технічні рекомендації з ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

– *вперше* розроблено оперативно-технічну методику скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру уявляє собою сукупність чотирьох груп дій: перша – вибір типових для проведення аварійно-рятувальних робіт першим оперативно-рятувальним підрозділом під час ліквідації (локалізації) надзвичайних ситуацій техногенного характеру оперативних розгортань пожежно-рятувальних автомобілів та їх фізичне моделювання у відповідності до плану 3x2x2 з урахуванням факторів, які

характеризують клас пожежно-рятувального автомобіля, рівень підготовленості рятувальників та пору року; друга – отримання трифакторної поліноміальної моделі в нормованих перемінних, їх аналіз та спрощення з подальшим ранжуванням факторів в центрі факторного простору та на його краях; третя – експертне обґрунтування рекомендацій для впровадження; четверта – вибір і реалізація оперативно-технічних рекомендацій.

– *уточнено* закономірності оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

– *набув подальшого розвитк*у метод обґрунтування нормативів для оперативних розрахунків першого рятувального підрозділу в процесі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів різного класу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що методика скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру дозволяє розробити науково-обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності дій особового складу оперативно-рятувальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: оперативні розгортання, надзвичайна ситуація, скорочення часу, аварійно-рятувальні роботи

Список публікацій здобувача

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. **Beliuchenko D.**, Burmenko A., Loboichenko V., Maxsymov A. Specifics of the multivariate simulation evaluation of the system “rescuer – emergency equipment – emergency” functioning. *International Science Group. – Boston:*

Primedia e Launch, 2020. P.211-215. Available at: DOI: 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.I

Особисто здобувачем розроблено математичну модель оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

2. Стрілець В.М., **Белюченко Д.Ю.**, Іванов Є.В. Порівняльний аналіз виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах різного класу. *Проблемы пожарной безопасности*. Харків, 2017. Вип.43. С. 168-177. (Стаття у міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, Google Scholar).

Особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки

3. **Белюченко Д.Ю.**, Дейнеко Н.В., Сошинський О.І., Стрілець В.М. Обґрунтування нормативів для оцінювання оперативних розгортань на нових пожежних автомобілях різного класу. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2018, №142. С. 137-144. (Стаття у міжнародних наукометричних базах Google Scholar, World Cat, Directory of Open Access Journals, Index Copernicus International).

Особисто здобувачем зроблені пропозиції щодо впровадження отриманих результатів

4. **Белюченко Д.Ю.** Оцінка ефективності виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах легкого та тяжкого класу з використанням нормативів. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2018, №146. С. 151-156.(Стаття у міжнародних наукометричних базах Google Scholar, World

Cat, Directory of Open Access Journals, Index Copernicus International).

Здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів

5. **Belyuchenko D.**, Maksymov A., StreletcV. Analysis of the influence of the time of the year on the operational deployment of fire truck tanks of different class. *Problems of Emergency Situations*.Kharkiv, 2019. - №2 (30) -Pp. 42-53. (Стаття у міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, Google Scholar).

Особисто здобувачем розроблено математичну модель оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

6. **Белюченко Д.Ю.**, Стрілець В.М. Багатофакторна оцінка ефективності оперативного розгортання пожежних автомобілів в умовах виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2020, №156. С. 204-211.(Стаття у міжнародних наукометричних базах Google Scholar, World Cat, Directory of Open Access Journals, Index Copernicus International).

Особисто здобувачем розроблено методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Стрілець В.М., Стецюк Є.В., Іванов Є.В., **Белюченко Д.Ю.**Розробка науково-методичного апарату обґрунтування нормативів для оцінювання рівня підготовки особового складу підрозділів ОРС ЦЗ. *Стратегії реформування організації цивільного захисту*. Науково-практична конференція, м. Київ, 16 травня 2018 року. Київ: ІДУЦЗ, 2018. С. 277-279. (Форма участі – заочна).

Особисто здобувачем розроблено методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

8. **Белюченко Д.Ю.**, Белоножка А.А. Исследования сокращения времени оперативного развертывания спасательной техники пожарно-спасательного подразделения. *Стратегії реформування організації цивільного захисту*. Науково-практична конференція, м. Київ, 16 травня 2018 року.Київ: ІДУЦЗ, 2018. С. 27-29. (Форма участі – заочна).

Особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки

9. **Белюченко Д.Ю.**, Стрілець В.М.Особливості оперативних розгортань на пожежних автоцистернах різного класу. *Сучасний стан цивільного захисту та перспективи розвитку*. 20 Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Київ, 9-10 жовт.2018 року. Київ, 2018. С. 37-39.(Форма участі-очна).

Особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки

10. Стрілець В.М., **Белюченко Д.Ю.**Аналіз оперативних розгортань на автоцистернах різного класу пожежно-рятувального підрозділу.*Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*. Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, м. Харків, 10-11 квітня 2019 року. Харків. НУЦЗУ, 2019. С. 7-8.(Форма участі – заочна).

Здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів

11. Стрілець В.М., **Белюченко Д.Ю.** Проблемні питання оперативного розгортання сучасних енергоефективних пожежних автоцистерн. *Енергозбереження та безпека професії: виклики та можливості*. ІІ Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 4–5 червня 2019 року. Київ, 2019. С. 305-310. (Форма участі – очна).

Особисто здобувачем зроблені пропозиції щодо впровадження

отриманих результатів

12. **Белюченко Д.Ю.,** Стрілець В.М. Особливості впливу метеорологічних чинників на оперативні розгортання пожежних автоцистерн. *Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах*. 21 Всеукраїнська науково-практичної конференція, м. Київ, 8 жовтня 2019 року. Київ ІДУЦЗ, 2019. – С. 29-31. (Форма участі – очна).

Здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів

13. **Белюченко Д.Ю.** Визначення залежності проведення оперативного розгортання пожежних автоцистерн від пори року. *Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика.* Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 21-22 листопада 2019 року. Харків НУЦЗУ. 2019. С.13-14.(Форма участі – очна).

Здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів

14. Стрілець В.М., **Белюченко Д.Ю.** Особливості виконання оперативних розгортань на основних пожежних-рятувальних автомобілях різного класу. *Пріоритетні напрямки розвитку науки.* ІІ Міжнародна науково-практична конференція, м. Львов, 25-26 листопада 2019 року. Львів, 2019. С. 236-239. (Форма участі – очна).

Особисто здобувачем розроблено математичну модель оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

15. **Белюченко Д.Ю.**, Стрелец В.М. Особенности оперативного развертывания пожарных автоцистерн, связанные с временем года. *Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций*. III Международная научно-практическая конференция, г. Минск 29 ноября 2019 года. Минск Университет гражданской защиты министерства по чрезвычайным

ситуациям республики Беларусь. 2019. С. 106-107. (Форма участі – заочна).

Особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки

16. **Белюченко Д.Ю.**, Стрелец В.М. Многофакторная оценка эффективности оперативного развертывания основных пожарных автомобилей при ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера. *Наука, суспільство, освіта: актуальні питання та перспективи розвитку.* VIII міжнародна науково-практична конференція. Харків, 5-7 липня 2020 р. С. 106-107. (Форма участі – заочна).

Особисто здобувачем розроблено методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

ABSTRACT

Belyuchenko D.Y. The method of reducing the time of operational deployment by the first rescue unit in emergencies of technogenic nature - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 21.02.03 - Civil defense. - National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The dissertation work is devoted to solving an important scientific and practical problem in the field of civil defense - developed operational and technical methods of reducing the time of operational deployments by the first rescue unit during the elimination of emergencies of technogenic nature.

The introduction substantiates the relevance of the direction of research on the selected topic; the connection of work with scientific programs, plans, topics is indicated; the purpose and tasks of scientific research are formulated; the scientific novelty of the obtained results and the practical value of the work are revealed; data on the applicant's personal contribution and approbation of the dissertation results are given.

In the first section ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF THE OPERATIONAL DEPLOYMENT OF RESCUE FORCES AND MEANS, an analysis of literature and information sources on the operational deployment of rescue forces and means in the leading countries of the world and in Ukraine was performed. It is shown that the task of scientific research is to develop operational and technical methods to reduce the time of operational deployment by the first rescue unit during the liquidation of technogenic emergencies, which should take into account both operational (the level of training of personnel and the impact of the emergency situation) and technical conditions of combat operations.

The second section DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS DEPLOY FIRST RESCUE UNITS DURING THE TECHNOGENIC EMERGENCY technical and operational methods based on it were formed

primarily initial and boundary conditions for the functioning of the developed mathematical model. Then the process of deployment of rescue forces and means is revealed. This allowed us to consider options for the use of forces and means in the form of one-factor models, as well as the order of analysis of weighting factors in one-factor models. Based on the weight of the obtained coefficients, the order of expert assessments and selection of operational and technical recommendations is determined. This allowed us to determine the conditions for solving individual problems that are included in the general mathematical model. Based on the latter, a new method of reducing the time of operational deployment by the first rescue unit in emergencies of man-made nature was created.

In the third section VERIFICATION OF THE RELIABILITY OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE OPERATIONAL DEPLOYMENT OF THE FIRST RESCUE DIVISION DURING THE LIQUIDATION OF THE TECHNOGENIC EMERGENCY, AND METHODS CREATED ON ITS BASIS, THE EXPERIMENTAL BASE WAS FIRSTLY DESCRIBED.

After that, the implementation of experimental studies of the time of two typical options for the rapid deployment of rescue vehicles by the first rescue unit was considered and a statistical evaluation of the results was performed. In the end, the reliability of each option of the mathematical model is evaluated.

In the fourth section EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE METHOD OF REDUCING THE TIME OF OPERATIOAL DEPLOYMENTS BY THE FIRST RESCUE UNIT DURING THE ELIMINATION OF EMERGENCIES OF TECHNOGENIC NATURE first of all, the obtained multifactor models of operational deployment were analyzed, which take into account the class of the rescue vehicle, the level of rescuers' training and the season. After that, based on the results of this analysis, operational and technical recommendations in the form of new standards for the rapid deployment of rescue vehicles in the process of eliminating emergencies of technogenic nature are substantiated. In the end the reliability of realization of the developed technique is estimated.

In the fifth section PROPOSALS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE DEVELOPED MATHEMATICAL MODEL AND METHODS BASED ON IT substantiates the recommendations to the personnel of light and heavy rescue vehicles, as well as offers proposals to reduce the time of operational deployments by calculations of incomplete equipment.

The scientific novelty of the obtained results is that:

• for the first time a mathematical model of operative deployment of the first rescue unit during the liquidation of a technogenic emergency, which is a system of four analytical dependencies, was developed. The first is a functional that describes the process of operational deployment of rescue forces and means. The second dependence allows us to represent this functionality as a set of one-factor models.The third - provides determination of weights at the decision of a three-factor problem (a kind of the fire and rescue car, preparation of rescuers, a season). Fourth - allows you to evaluate and select operational and technical recommendations for the elimination of technogenic emergencies.

• for the first time developed operational and technical method of reducing the time of operational deployment of the first rescue unit in emergencies of technogenic nature is a set of four groups of actions: the first - the choice of typical emergency rescue operations by the first rescue unit during the elimination (localization) the nature of operational deployments of fire and rescue vehicles and their physical modeling in accordance with the plan 3x2x2, taking into account the factors that characterize the class of fire and rescue vehicle, the level of training of rescuers and the season; the second - obtaining a three-factor polynomial model in normalized variables, their analysis and simplification with subsequent ranking of factors in the center of the factor space and at its edges; third - expert substantiation of recommendations for implementation; fourth - the selection and implementation of operational and technical recommendations.

• specified regularities of operative deployment of fire and rescue vehicles during liquidation of technogenic emergencies.

• further developed the method of substantiation of standards for operational calculations of the first rescue unit in the process of operational deployment of fire and rescue vehicles of different classes.

The practical significance of the obtained results is that the method of reducing the time of operational deployments by the first rescue unit during the liquidation of technogenic emergencies allows to develop scientifically sound recommendations for improving the effectiveness of personnel of operational and rescue units of the State Emergency Service of Ukraine.

Keywords: operational deployment, emergency, time reduction, emergency rescue operations.

List of publications of the applicant

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

Monograph:

1. **Beliuchenko D.**, Burmenko A., Loboichenko V., Maxsymov A. Specifics of the multivariate simulation evaluation of the system “rescuer – emergency equipment – emergency” functioning. *International Science Group. – Boston: Primedia e Launch*, 2020. P.211-215. Available at: DOI: 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.I

Personally, the applicant developed a mathematical model of operational deployment of fire and rescue vehicles by the first operational and rescue unit in the process of liquidation of man-made emergencies

Articles in the scientific professional editions of Ukraine, which are included in the international scientometric bases:

2. Strilec V.M., **Belyuchenko D.Yu.,** Ivanov Ye.V. Porivnyalnij analiz vikonannya operativnih rozgortan na pozhezhnih avtocisternah riznogo klasu.

Problemy pozharnoj bezopasnosti. Harkiv, 2017. Vip.43. S. 168-177. (Stattya u mizhnarodnih naukometrichnih bazah Index Copernicus, Google Scholar).

Personally, the applicant performed an analysis of the features of the operational deployment of emergency rescue equipment

3. **Belyuchenko D.Yu.,** Dejneko N.V., Soshinskij O.I., Strilec V.M. Obgruntuvannya normativiv dlya ocinyuvannya operativnih rozgortan na novih pozhezhnih avtomobilyah riznogo klasu. Naukovo-tehnichnij zbirnik «Komunalne gospodarstvo mist». Seriya: Tehnichni nauki ta arhitektura. 2018, №142. S. 137-144. (Stattya u mizhnarodnih naukometrichnih bazah Google Scholar, World Cat, Directory of Open Access Journals, Index Copernicus International).

The applicant personally made proposals for the implementation of the results

4. **Belyuchenko D.Yu.** Ocinka efektivnosti vikonannya operativnih rozgortan na pozhezhnih avtocisternah legkogo ta tyazhkogo klasu z vikoristannyam normativiv. Naukovo-tehnichnij zbirnik «Komunalne gospodarstvo mist». Seriya: Tehnichni nauki ta arhitektura. 2018, №146. S. 151-156.(Stattya u mizhnarodnih naukometrichnih bazah Google Scholar, World Cat, Directory of Open Access Journals, Index Copernicus International).

The applicant participated in the experiments and processing of the results

5. **Belyuchenko D.,** Maksymov A., StreletcV. Analysis of the influence of the time of the year on the operational deployment of fire truck tanks of different class. Problems of Emergency Situations.Kharkiv, 2019. - №2 (30) -Rr. 42-53. (Stattya u mizhnarodnih naukometrichnih bazah Index Copernicus, Google Scholar).

Personally, the applicant developed a mathematical model of operational deployment of fire and rescue vehicles by the first operational and rescue unit in the process of liquidation of man-made emergencies

6. **Belyuchenko D.Yu.,** Strilec V.M. Bagatofaktorna ocinka efektivnosti operativnogo rozgortannya pozhezhnih avtomobiliv v umovah viniknennya nadzvichajnih situacij tehnogennogo harakteru. Naukovo-tehnichnij zbirnik

«Komunalne gospodarstvo mist». Seriya: Tehnichni nauki ta arhitektura. 2020, №156. S. 204-211.(Stattya u mizhnarodnih naukometrichnih bazah Google Scholar, World Cat, Directory of Open Access Journals, Index Copernicus International).

The applicant personally developed a method of reducing the time of operational deployments by the first rescue unit during the elimination of emergencies of man-made nature

Scientific works that certify the approbation of the dissertation materials:

7. Strilec V.M., Stecyuk Ye.V., Ivanov Ye.V., **Belyuchenko D.Yu.** Rozrobka naukovo-metodichnogo aparatu obgruntuvannya normativiv dlya ocinyuvannya rivnya pidgotovki osobovogo skladu pidrozdiliv ORS CZ. Strategiyi reformuvannya organizaciyi civilnogo zahistu. Naukovo-praktichna konferenciya, m. Kiyiv, 16 travnya 2018 roku. Kiyiv: IDUCZ, 2018. S. 277-279. (Forma uchasti-zaochna).

The applicant personally developed a method of reducing the time of operational deployments by the first rescue unit during the elimination of emergencies of man-made nature

8. **Belyuchenko D.Yu.,** Belonozhka A.A. Issledovaniya sokrasheniya vremeni operativnogo razvertyvaniya spasatelnoj tehniki pozharno-spasatelnogo podrazdeleniya. Strategiyi reformuvannya organizaciyi civilnogo zahistu. Naukovo-praktichna konferenciya, m. Kiyiv, 16 travnya 2018 roku.Kiyiv: IDUCZ, 2018. S. 27-29. (Forma uchasti-zaochna).

Personally, the applicant performed an analysis of the features of the operational deployment of emergency rescue equipment

9. **Belyuchenko D.Yu.,** Strilec V.M.Osoblivosti operativnih rozgortan na pozhezhnih avtocisternah riznogo klasu. Suchasnij stan civilnogo zahistu ta perspektivi rozvitku. 20 Vseukrayinska naukovo-praktichna konferenciya, m. Kiyiv, 9-10 zhovt.2018 roku. Kiyiv, 2018. S. 37-39.(Forma uchasti-ochna).

Personally, the applicant performed an analysis of the features of the operational deployment of emergency rescue equipment

10. Strilec V.M., **Belyuchenko D.Yu.** Analiz operativnih rozgortan na avtocisternah riznogo klasu pozhezhno-ryatuvalnogo pidrozdilu.Problemi ta perspektivi zabezpechennya civilnogo zahistu. Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya molodih uchenih, m. Harkiv, 10-11 kvitnya 2019 roku. Harkiv. NUCZU, 2019. S. 7-8.(Forma uchasti – zaochna).

The applicant participated in the experiments and processing of the results

11. Strilec V.M., **Belyuchenko D.Yu.** Problemni pitannya operativnogo rozgortannya suchasnih energoefektivnih pozhezhnih avtocistern. Energozberezhennya ta bezpeka profesiyi: vikliki ta mozhlivosti. II Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya, m. Kiyiv, 4–5 chervnya 2019 roku. Kiyiv, 2019. S. 305-310. (Forma uchasti – ochna).

The applicant personally made proposals for the implementation of the results

12. **Belyuchenko D.Yu.,** Strilec V.M. Osoblivosti vplivu meteorologichnih chinnikiv na operativni rozgortannya pozhezhnih avtocistern. Rozvitok civilnogo zahistu v suchasnih bezpekovih umovah. 21 Vseukrayinska naukovo-praktichnoyi konferenciya, m. Kiyiv, 8 zhovtnya 2019 roku. Kiyiv IDUCZ, 2019. – S. 29-31. (Forma uchasti – ochna).

The applicant participated in the experiments and processing of the results

13. **Belyuchenko D.Yu.** Viznachennya zalezhnosti provedennya operativnogo rozgortannya pozhezhnih avtocistern vid pori roku. Problemi tehnogenno-ekologichnoyi bezpeki: osvita, nauka, praktika. Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya, m. Harkiv, 21-22 listopada 2019 roku. Harkiv NUCZU. 2019. S.13-14.(Forma uchasti – ochna).

The applicant participated in the experiments and processing of the results

14. Strilec V.M., **Belyuchenko D.Yu.** Osoblivosti vikonannya operativnih rozgortan na osnovnih pozhezhnih-ryatuvalnih avtomobilyah riznogo klasu. Prioritetni napryamki rozvitku nauki. II Mizhnarodna naukovo-praktichna

konferenciya, m. Lvov, 25-26 listopada 2019 roku. Lviv, 2019. S. 236-239. (Forma uchasti – ochna).

Personally, the applicant developed a mathematical model of operational deployment of fire and rescue vehicles by the first operational and rescue unit in the process of liquidation of man-made emergencies

15. **Belyuchenko D.Yu.,** Strelec V.M. Osobennosti operativnogo razvertyvaniya pozharnyh avtocistern, svyazannye s vremenem goda. Bezopasnost cheloveka i obshestva: sovershenstvovanie sistemy reagirovaniya i upravleniya zashitoj ot chrezvychajnyh situacij. III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, g. Minsk 29 noyabrya 2019 goda. Minsk Universitet grazhdanskoj zashity ministerstva po chrezvychajnym situaciyam respubliki Belarus. 2019. S. 106-107. (Forma uchasti – zaochna).

Personally, the applicant performed an analysis of the features of the operational deployment of emergency rescue equipment

16. **Belyuchenko D.Yu.,** Strelec V.M. Mnogofaktornaya ocenka effektivnosti operativnogo razvertyvaniya osnovnyh pozharnyh avtomobilej pri likvidacii chrezvychajnyh situacij tehnogennogo haraktera. Nauka, suspilstvo, osvita: aktualni pitannya ta perspektivi rozvitku. VIII mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya. Harkiv, 5-7 lipnya 2020 r. S. 106-107. (Forma uchasti – zaochna).

The applicant personally developed a method of reducing the time of operational deployments by the first rescue unit during the elimination of emergencies of man-made nature

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ…… 23

ВСТУП…… 25

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ СИЛ ТА ЗАСОБІВ …. 31

1.1. Особливості проведення оперативних розгортань у провідних країнах світу……. 31

1.2. Особливості оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів в Україні..... 44

Висновки за першим розділом…… 46

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПЕРШОГО РЯТУВАЛЬНОГО ПІДРОЗДІЛУ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ТА ОПЕРАТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ МЕТОДИКИ НА ЇЇ ОСНОВІ ……..…….. 47

2.1. Математична модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру ……. 47

2.1.1. Початкові та граничні умови функціонування розробленої математичної моделі …….……. 48

2.1.2. Процес розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів …. 49

2.1.3. Варіанти використання сил і засобів у вигляді однофакторних моделей……. 52

2.1.4. Порядок аналізу вагомих коефіцієнтів в багатофакторних моделях …… 53

2.1.5. Порядок експертних оцінок і вибору оперативно-технічних рекомендацій …….. 58

2.1.6. Математична модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру …….. 60

2.2 Розробка оперативно-технічної методики скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру ……. 62

Висновки по другому розділу……..……. 72

РОЗДІЛ 3. ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПЕРШОГО РЯТУВАЛЬНОГО ПІДРОЗДІЛУ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ТА МЕТОДИКИ, СТВОРЕНОЇ НА ЇЇ ОСНОВІ…..……..… 74

3.1. Експериментально-випробувальна база ……. 74

3.1.1. Оперативно-рятувальні автомобілі …… 74

3.1.2. Оснащення рятувальників …….……. 83

3.1.3. Тренувальні майданчики ……..…….. 85

3.1.4. Заходи з охорони праці …… 86

3.2. Оцінка достовірності математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації (варіант 1 – «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни»)…….……..…… 88

3.2.1. Характеристика обраного варіанту оперативного розгортання ……. 88

3.2.2. Статистична оцінка експериментальних результатів та перевірка значимості вибраних факторів ……... 90

3.2.3. Статистична оцінка першого варіанту математичної моделі («Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни»)……..……. 106

3.3. Оцінка достовірності математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації (варіант 2 – «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант»)……... 109

3.3.1. Характеристика обраного варіанту оперативного розгортання…….. 109

3.3.2. Статистична оцінка експериментальних результатів та перевірка значимості вибраних факторів…….. 112

3.3.3. Статистична оцінка другого варіанту математичної моделі («Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант»)…… 121

Висновки за третім розділом …… 124

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ОПЕРАТИВНИХ РОЗГОРТАНЬ ПЕРШИМ РЯТУВАЛЬНИМ ПІДРОЗДІЛОМ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ……. 125

4.1. Аналіз варіантів моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та рекомендацій, отриманих на її основі …… 125

4.2. Обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій у вигляді нових нормативів оперативного розгортання оперативно-рятувальних автомобілів в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру …… 129

4.3. Оцінка надійності реалізації розробленої методики ……. 136

Висновки за четвертим розділом…….. 141

РОЗДІЛ 5. ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИКИ НА ЇЇ 142

ОСНОВІ ……...

5.1. Обґрунтування рекомендацій особовому складу легких та важких оперативно-рятувальних автомобілів ……..… 142

5.2. Пропозиції щодо скорочення часу оперативних розгортань розрахунками неповної комплектації ……..…….. 145

Висновки за п’ятим розділом …… 146

ВИСНОВКИ……. 147

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…… 150

ДОДАТОК А. Список публікацій за темою дисертації…… 167

ДОДАТОК Б. Акти впровадження результатів досліджень…… 173

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРР – аварійно-рятувальні роботи

АРТ – аварійно-рятувальна техніка

АРА – аварійно-рятувальні автомобілі

ПРА – пожежно-рятувальні автомобілі

ОР – оперативне розгортання

АЦ – автоцистерна

ПАН - пожежна автонасосна станція

НП – надзвичайна подія

ОРТ – оперативно-рятувальна техніка

ПГ – пожежний гідрант

ПР – пожежні рукова

ПК – пожежна колонка

ЗОП – захисний одяг пожежного

ІЗДА - ізолювальний захисний дихальний апарат

ГУ – головне управління

ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій

ОРП – Оперативно-рятувальний підрозділ

МВНХР – малооб’ємний вибух небезпечних хімічних речовин

ММ – математична модель

НП – надзвичайна подія

НС – надзвичайна ситуація

НУЦЗУ – Національний університет цивільного захисту України

ПК – персональний комп’ютер

FEMA – англ. The Federal Emergency Management Agency, Федеральне агентство по управлінню в надзвичайних ситуаціях

IEMS – Система по єдиному управлінню в надзвичайних ситуаціях

NFPA – англ. National Fire Protection Association, Національна асоціація протипожежного захисту

OSHA – англ. Occupational Safety and Health Administration, Управління з охорони праці

WAC – адміністративний кодекс Вашингтона

ПРП – пожежно-рятувальні пристрої

РК – рукавне розголудження

ГПС – генератор піни середньої кратності

ДПО – допоміжне пожежне обладнення

ГПБ – гідравлічне пожежне обладнення

ППІ – переносний пожежний інстркмент

ЗІЗП - асіб індивідуального захисту пожежника

ПЗГ - пожежна з'єднувальна головка

ПС - пожежний ствол

МППІ - механізований переносний пожежний інструмент

ТОП - тепловідбивний одяг пожежника

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Аналіз надзвичайних ситуацій техногенного характеру показує, що активна участь в їх ліквідації пожежно-рятувальних підрозділів призводить до різкого зменшення негативних наслідків. Особливо це стосується дій перших пожежно-рятувальних підрозділів під час проведення аварійно-рятувальних робіт, які починаються з оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів.

Ефективне проведення аварійно-рятувальних робіт в умовах попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру супроводжується протиріччям між тактичними прийомами, що були розроблені в 60-70-х роках двадцятого сторіччя з урахування створеної на той час рятувальної техніки і наведені в діючих документах, та наявною практикою оперативної роботи рятувальників, які на початковому етапі можуть використовувати нові зразки пожежних автомобілів з покращеними тактико-технічними характеристиками. При цьому для них відсутні рекомендації щодо їх використання, які б враховували нові типи пожежно-рятувальних автомобілів, рівень підготовленості особового складу або пору року тощо. Все це свідчить, що ефективне проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом вимагає розробки комплексу оперативно-технічних заходів, реалізація яких забезпечить скорочення часу оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів при обмеженнях на людські і технічні ресурси, не знижуючи при цьому рівень безпеки рятувальників.

Враховуючи це, задача розв’язання невідповідності існуючих нормативних вимог стосовно пожежно-рятувальної техніки, яку застосовує особовий склад першого пожежно-рятувального підрозділу сучасним завданням, які стоять перед ним в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 квітня 2011 року № 368-р. «Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2012-2016 роки», «Стратегії реформування системи Державної служби з надзвичайних ситуацій», схваленої Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25 січня 2017 р. № 61-р. та Плану заходів з реалізації Стратегії розвитку органів системи Міністерства внутрішніх справ на період до 2020 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 року № 693, а також в рамках виконання науково-дослідних робіт «Розробка пропозицій щодо підвищення ефективності бойової діяльності особового складу пожежної охорони» (№ державної реєстрації 0100U002054) та «Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності оперативного розгортання» (№ державної реєстрації 0110U003271), в яких автор брав участь у якості виконавця.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка оперативно-технічної методики скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати особливості оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів;

2. Розробити математичну модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та оперативно-технічної методики на її основі;

3. Перевірити достовірність розробленої математичної моделі та методики, створеної на її основі;

4. Оцінити ефективність застосування методики скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру;

5. Запропонувати варіанти впровадження розробленої математичної моделі та методики на її основі.

Об'єкт дослідження – ліквідація надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Предмет дослідження – процес оперативного розгортання пожежно-рятувальних сил та засобів під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

Методи дослідження. На основі системного підходу та системного аналізу було визначено чинники, які впливають ліквідацію надзвичайних ситуацій техногенного характеру першим рятувальним підрозділом. Ймовірнісно-статистичні методи були використані для обробки та аналізу натурних та розрахункових експериментальних результатів, отримання математичної моделі та оцінки ефективності методики, яка була розроблена на її основі.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-практичну задачу в галузі цивільного захисту – розроблено оперативно-технічну методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

У процесі виконання роботи отримані наступні наукові результати:

1. *Вперше* розроблено математичну модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, що уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша – функціонал, який описує процес оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Друга залежність дозволяє уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя – забезпечує визначення вагових коефіцієнтів при вирішенні трифакторногої

задачі (вид пожежно-рятувального автомобіля, підготовка рятувальників, пора року). Четверта – дозволяє оцінити та вибрати оперативно-технічні рекомендації з ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

2. *Вперше* розроблено оперативно-технічну методику скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру уявляє собою сукупність чотирьох груп дій: перша – вибір типових для проведення аварійно-рятувальних робіт першим оперативно-рятувальним підрозділом під час ліквідації (локалізації) надзвичайних ситуацій техногенного характеру оперативних розгортань пожежно-рятувальних автомобілів та їх фізичне моделювання у відповідності до плану 3х2х2 з урахуванням факторів, які характеризують клас пожежно-рятувального автомобіля, рівень підготовленості рятувальників та пору року; друга – отримання трифакторної поліноміальної моделі в нормованих перемінних, їх аналіз та спрощення з подальшим ранжуванням факторів в центрі факторного простору та на його краях; третя – експертне обґрунтування рекомендацій для впровадження; четверта – вибір і реалізація оперативно-технічних рекомендацій.

3. *Уточнено* закономірності оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

*4. Набув подальшого розвитк*у метод обґрунтування нормативів для оперативних розрахунків першого рятувального підрозділу в процесі оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів різного класу.

Практичне значення отриманих результатів дослідження полягає у тому, що методика скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру дозволяє розробити науково-обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності дій особового складу оперативно-рятувальних підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Основні результати дослідження були впроваджені в

практичну діяльність Головного управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій у Харківській області, Інституті державного управління та наукових досліджень цивільного захисту та Національного університету цивільного захисту України.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто і наведені в роботах, які представлені у додатку А. У процесі проведення дисертаційного дослідження:

– особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки;

– особисто здобувачем розроблено математичну модель оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру;

– особисто здобувачем розроблено методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру;

– здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів;

– особисто здобувачем зроблені пропозиції щодо впровадження отриманих результатів.

Апробація результатів дисертації. Науково-практична конференції «Стратегії реформування організації цивільного захисту» (ІДУ ЦЗ України, 16 травня 2018 р. , форма участі – очна), 20 Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасний стан цивільного захисту та перспективи розвитку» (ІДУ ЦЗ України, м. Київ, 9-10 жовтня 2018 р., форма участі – очна), II international scientific and practical conference «Priority directions of science development» («НТУ «Львівська політехніка», м. Львов, 25-26 листопада 2019 р., форма участі – заочна), III Міжнародна науково-практична конференція «Безопасность человека и общества: совершенствование системы

реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций» (МНС Республіки Беларусь, м. Мінськ, 29 листопада 2019 р., форма участі – заочна), ІІ Міжнародна науково-практична конференція «Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи» (ІЕЕ КПІ ім. І Сікорського, м. Київ, 4–5 червня 2019 р., форма участі – очна), Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту» (НУЦЗУ, м. Харків, 10-11 квітня 2019 р., форма участі – очна), Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика» (НУЦЗУ, м. Харків, 21-22 листопада 2019 року, форма участі – очна), ІІ Міжнародна науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки розвитку науки» (м. Львів, 25-26 листопада 2019 року, форма участі – заочна), ІІІ Міжнародна науково-практична конференція «Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций» (Університет цивільного захисту МНС республіки Беларусь, м. Мінськ, 29 листопада 2019 року, форма участі - заочна), VIII міжнародна науково-практична конференція «Наука, суспільство, освіта: актуальні питання та перспективи розвитку» (м. Харків, 5-7 липня 2020 року, форма участі - заочна).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць: 1 монографія та 5 статей у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз (у тому числі одна одноосібна), а також 10 тез доповідей на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота загальним обсягом 177 сторінок складається з анотації, змісту, переліку умовних скорочень, вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків, містить 15 рисунків та 33 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ СИЛ ТА ЗАСОБІВ

1.1. Особливості проведення оперативних розгортань у провідних країнах світу

Питання ефективного проведення оперативного розгортання є актуальними для всіх пожежно-рятувальних служб у світі [1]. Відповідно до [2], небезпечна подія - це подія у тому числі катастрофа, аварія, пожежа, стихійне лихо, епідемія, епізоотія, епіфітотія, яка за своїми наслідками становить загрозу життю або здоров'ю населення чи призводить до завдання матеріальних збитків.

Ось чому у провідних країнах світу та більшості інших держав створені компетентні державні органи, мета яких є ліквідація надзвичайних ситуацій максимально ефективно. У США для ліквідації надзвичайної ситуації (НС), яка виникла у межах певного територіального округу створюють місцеві органи влади комітет, для управління дій процесу реагування. У тому випадку коли у місцевих органів влади недостатньо ресурсів координацією реагування на НС займається Федеральне Агентство по управлінню в умовах надзвичайних ситуацій (FEMA) [3], яке було створено в 1979 р.

В більшості інших розвинутих країн також існують державні структури, діяльність яких носить характер, що відповідає діяльності FEMA (Великобританія – Управління цивільної оборони при Міністерстві внутрішніх справ [4], Франція – Національне управління цивільної оборони і цивільної безпеки Міністерства внутрішніх справ [5], ФРН – Федеральне управління цивільної оборони, [6], Канада - Агентством надзвичайної готовності [7]). При

цьому основу їх формувань складають підрозділи попередження та реагування на катастрофи, серед яких виділяються штатні рятувальні підрозділи, які виконують основні види аварійно-рятувальних робіт (АРР) на початковому етапі ліквідації (локалізації) НС або надзвичайної події.

В США [8,9] рятувальники найчастіше групуються в міські або окружні департаменти. Професійні пожежно-рятувальні служби захищають 68% населення США. В цілому створено в 22705 пожежних підрозділів по всій країні і реагують на надзвичайні ситуації 58150 пожежних станцій. В результаті для проведення оперативного розгортання залучаються різноманітна аварійно-рятувальні техніка (АРТ). У США [10-12] та Канади [13] АРТ дуже специфічна. Перш за все, через доволі великі обсяги власного виготовлення та продажів АРТ (близько 2 тисяч одиниць щороку) цей ринок залишається практично закритим для виробників з інших країн. По-друге, в підрозділах використовуються різноманітні аварійно-рятувальні автомобілі (АРА), які відповідають НС, які можуть саме на конкретній території. В наслідок цього FEMA не тільки координує дії всіх державних служб щодо локалізації та ліквідації різноманітних НС, але й безпосередньо відповідає за підготовку пожежно-рятувальних підрозділів у відповідності до стандарту [14,15] з урахуванням [16,17] як місцевих особливостей [18], так і АРТ, яка стоїть у них на озброєнні.

Враховуючи вимоги Кодексу [19], Стандарти OSHA 1910.120 [20] та OSHA 1910.156 [21] уточнюють, що персонал, який приймає участь в проведенні аварійно-рятувальних робіт, повинен пройти спеціальну підготовку до кваліфікованого застосування специфічного для конкретної професійної пожежно-рятувальної станції аварійно-рятувального обладнання [22].

Керівники як професійних, так і пожежних команд, які складаються з добровольців, повинні мати навички не тільки по виконанню безпомилкового оперативного розгортання ПРА, які стоять у них на озброєнні, але й адаптувати їх до вимог конкретної ситуації [24,25]. При цьому стандарт [26] регламентує часові стандарти для основних етапів реагування (у тому разі час оперативного

розгортання) для професійних підрозділів аварійно-рятувальних формувань у відповідному населеному пункті, а стандарт [27] вміщує подібні положення, але для волонтерських підрозділів.

Принципи організації та структура функціонування екстрених і рятувальних служб США визначена у документі «Національна система реагування» (National Response Framework) [28,29]. Кожен штат регламентує організацію та діяльність пожежної-рятувальної служби, але з дотриманням вимого стандартів та нормативних документів [30], які визначають необхідну кількість аварійно-рятувальної техніки та відповідний результат професійної підготовки пожежних. При забезпечені АРТ пожежних станції в США враховуються місцеві особливості (поверховість, щільність забудови, наявність потенційно небезпечних об’єктів тощо). Кожна міська пожежна станція комплектується АРТ [31,32] з розрахунку забезпечення оперативної роботи, мінімум на один виклик з гасіння пожеж та на два виклики для екстреної рятувальної місії людей та інших оперативних дій [33-35].

Згідно [36] в США пожежно-рятувальні автомобілі (ПРА) класифікуються за типом і застосуванням. Пожежні машини 1 типу автодрабини (aerials), 2 типу це є автонасоси (pumpers) та автоцистерни (tankers). Пожежні автомобілі 3 і 4 типу (wildlands) застосовуються у передмістях, територіальних громад, сільській місцевості. Найбільша різниця між ними полягає в їх кількості оперативного розрахунку та збільшення ємності баку для води. Пожежні машини 5, 6 типу є автомобілями першої допомоги ("First-Out" Attack), 7 типу рятувальні автомобілі (rescues), а в пожежних станціях, що охороняють великі промислові об’єкти – промислові автомобілі (industrials). Автопомпи та автоцистерни, звісно, безпосередньо виконують функції пожежогасіння [37,38]. Відповідно для кожного ПРА розроблені свої типові варіанти оперативного розгортання (ОР), які враховують специфіку як конкретного ПРА, так і особового складу (штатні рятувальники чи добровольці), який буде її застосовувати [39].

За оцінками NFPA [40], в Канаді створено 3672 пожежних-рятувальних підрозділів. Усі професійні пожежні підрозділи складають 17,8% підрозділів та захищають 40,9% населення. І навпаки, всі добровільні пожежні підрозділи становлять 82,2% підрозділів та захищають 17,7% населення. В результаті канадські пожежні підрозділи мають суттєво більший відсоток пожежно-рятувальних підрозділів, віднесених до категорії всі добровольці або переважно добровольці [41,42], внаслідок чого в більшості випадків використовуються пожежно-рятувальні автомобілі трьох класів на базі автоцистерн (АЦ) та пожежних автонасосів (ПАН).

У США та Канаді вимоги, які висуваються до ПРА усіх типів, це простота і надійність що вважають надзвичайно важливим фактором [43]. Ефективність при проведені оперативної роботи, на думку американських фахівців, можна забезпечити застосуванням ПРА, які в Європі класифікуються як "важкі". Повна маса таких ПРА становить близько 18 т (двовісні) або 26 т (тривісні автомобілі) забезпечуються потужними насосами, а необхідна ступінь диспергування води забезпечується досконалим ручним пожежним стволам і з регульованим розпилом [44]. Таке поєднання потужних насосів і універсальним ручних пожежних стволів робить ліквідацію НС ефективнішою. При цьому спеціальні шасі, комплектуючі деталі, вузлів і агрегатів, виготовлені великими спеціалізованими компаніями найбільш широко застосовують при створенні ПРА в США [45]. Цим пояснюється принциповими відмінностями американських автомобілів від європейських.

Багато пожежних підрозділів у США рухаються напрямком придбання легкого класу ПРА [46,47], При цьому намагаються скомпонувати все обладнання з традиційного пожежного автонасоса та автоцистерни в менший ПРА та використовувати як аварійно-рятувальних автомобіль (MVA) при реагуванні на НП, пов’язанні з ДТП, а також НС в приміській і сільський місцевості, або для роботи у якості служби швидкої медичної допомоги (EMS) [48].

Важливість професійної підготовки до оперативних дій з реагування на НС професійних (кар'єрних) та добровільних (волонтерських) пожежних служб США відмічається в [49,50], де визначено що вони повинні володіти широкими професійній навиками. Вони вважаються пожежними-випробувальними до тих пір, поки не закінчать перший рік роботи та не подолають нормативні тестові показники, у тому разі типові оперативні розгортання [51,52]. Для випробувальних-пожежних окрім тренінгу, існують іспитові випробування, які проводяться за нормативними показниками для 4, 7 та 10 місяців першого року, основу яких складають різноманітні оперативні розгортання [53-55].

Приладом ефективних дій перших рятувальних підрозділів у США є процес ліквідації наслідків вибуху [56], який стався 19 листопада 2019 року на нафтопереробному заводі Philadelphia Energy Solutions у південній Філадельфії. На місце події відправлено велику кількість пожежних команд та спеціальної аварійно-рятувальної техніки, яка добре обладнана спеціальним аварійно-рятувальним обладнанням, але основну оперативну роботу виконав перший пожежний підрозділ на важкій автоцистерні, який застосував чотири стволи для подачі в осередок НС дрібнодисперсної води. Завдяки цьому було не допущено найгіршого сценарію НС, який включав викид 143262 фунтів фтористого водню, що міг переміщатися у вигляді токсичної хмара більше ніж на 17 миль і вразити понад мільйона людей.

Підвищена увага до належної кількості сучасної аварійно-рятувальної техніки та рівня професійної підготовки пожежних сприяла результатам ефективних оперативних дій рятувальних команд під час ліквідації НС техногенного характеру, яка сталося 31 серпня 2017 року на хімічному заводі в Кросбі, штату Техас, США [57], через повені, спровокованої ураганом "Харві" внаслідок якого завод опинився знеструмлений, і промислові холодильні установки вийшли з ладу, відбулися два потужних вибухи та масштабна пожежа. І в цьому випадку основну роботу виконувала перша пожежна

команда, яка використала оперативне розгортання пожежного автомобіля з подачею піни.

В країнах Європейського Союзу (ЄС) вся АРТ об’єднана [58] за категоріями щодо середовища використання (міські, сільські, позашляхова) та типу. Базовим стандартом є стандарт [59], який, серед іншого, поділяє пожежні автомобілі на три масових класи (легкий, середній та супер), з урахуванням чого, а також місцевих умов відбувається підготовка пожежного екіпажу (три пожежних) або пожежної «ескадрильї» (шість пожежних) [60].

У більшості європейських країн персонал пожежної служби аналогічний штату у США, але оперативні завдання сильно відрізняються. В США пожежний-рятувальник середнього та великого муніципалітету може провести більшу частину своєї кар'єри, виконуючи одні й ті ж обов'язки. В Європі, пожежний-рятувальник отримує різні спеціалізації [61,62], тому може бути призначений в оперативний розрахунок на пожежну автоцистерну в одну зміну, на пожежну автодрабину наступної зміни, а рятувальником на аварійно-рятувальний автомобіль – після цього. Усі європейські пожежні проходять базову та підвищену кваліфікації щодо гасіння пожеж, враховуючи можливість залучення до ліквідації різноманітних НС [63].

Але тривалість базового навчання пожежних-рятувальників по всій Європі [64] суттєво відрізняється. Деякі країни обчислюють його за години, як у Бельгії, де його тільки нещодавно збільшили до 150 навчальних годин. В іншому країнах (наприклад, Словаччині та Італії) це відбувається протягом декількох місяців. У Франції впроваджена 400 годинна програма підготовки. Але у всіх випадках відбувається підготовка до виконання різноманітних варіантів оперативного розгортання оперативно-рятувальної техніки (ОРТ). Навчання оперативному розгортанню є обов’язковим і для добровольців.

В Німеччині кількість пожежних частини їх чисельність персоналу і технічне оснащення визначаються конкретними можливостями кожної общини [65]. Законодавчо передбачено, що за необхідності (у випадку масштабної НС) федеральні землі будуть мати в розпорядженні всі ресурси держави [66,67]. Для

системи протипожежної служби Німеччині характерно наявність трьох видів пожежно-рятувальних підрозділів [68], оскільки близько 14% пожеж та надзвичайних ситуацій, які трапляються, характеризуються як складні та вимагають залучення значної кількості пожежно-рятувальної техніки та особового складу професійних пожежних підрозділів, а близько 23% пожеж – середньої складності. 63% пожеж це незначні пожежі та надзвичайні події (НП), значний відсоток яких виникає у територіальних муніципалітетах [69]. В результаті основну частину пожежогасіння та ліквідації надзвичайних подій у територіальних муніципалітетах здійснюють добровільні пожежно-рятувальні підрозділи та приватні пожежні підрозділи [70-72]. Завдяки щільному розміщенню підрозділів, внаслідок короткому часу прибуття на місце виклику, що гарантує незначні втрати [73,74].

При цьому для професійних пожарних і добровольців немає відмінностей у кваліфікаційних вимогах. Всі вони проходять однакову підготовку в пожежних школах, тривалість якої складає 2 роки, включаючи практику із виконання різноманітних видів оперативної діяльності [75].

Практично всі оперативні завдання, що пов’язані з ліквідацією НС техногенного характеру, виконується особовим складом професійних пожежно-рятувальних частин. Це добре видно на прикладі аварійно-рятувальної техніки, яка залучалась на ліквідацію наслідків НС з викидами НХР, що сталося 17 жовтня 2016 року [76] на найбільшому виробничому підприємстві хімікатів BASF в Німеччині в місті Людвігсхафен, де стався вибух. Він трапився під час робіт на трубопроводі, потім виникла пожежа, внаслідок чого 3 людей загинуло, а 28 отримали серйозні травми. Було залучено понад 220 осіб, 42 одиниці АРТ, але запобігання викиду токсичних парів з установок парового крекінгу забезпечили дії першої команди [77]. Аналогічним чином позитивне місце ефективних дій першої пожежно-рятувальної команди мало місце під час зіткнення поїздів в Бад-Айблінці в Баварії 9 лютого 2016 року [78,79].

У Франції гасіння пожеж та аварійно-рятувальні операції в основному здійснюють пожежними [80,81], згруповані у відомчі громадські установи

(відомчі пожежно-рятувальні служби), в муніципальні та міжмуніципальні органи у двадцяти департаментах, а також військові частини (Паризька пожежна команда та Марсельський пожежний батальйон). Усі ці організації визначені загальним терміном: пожежно-рятувальні служби.

Загальна кількість аварійно-рятувальних центрів у Франції становить 6528, 7542 пожежно-рятувальних автомобіля, 1195 пожежних автодрабин та автопідіймачів,, пожежно-рятувальна служба начисляє 246700 пожежних, у тому числі, 40700 професійних пожежних (18%), 193300 пожежних-добровольців (7%), 12700 солдатів (5%). При підготовці враховані особливості, які пов’язані з тим, що жінки складають 17% цивільних пожежних [82].

Згідно [83] у кожному регіоні та муніципалітеті створюється положення, оперативний регламент та погоджуються з відомчим технічним комітетом, адміністративно-технічною комісією, пожежно-рятувальною службою та адміністрацією регіону. Це положення встановлює оперативні інструкції, що стосуються різних оперативних дій пожежно-рятувальних служб і обов'язково визначає мінімальну кількість особового складу та необхідне кількість пожежно-рятувальних автомобілей та обладнання.

Відповідно [84] пожежно-рятувальний центр забезпечується для виконання оперативних дій по гасінню пожежі щонайменше однією автоцистерною середнього класу на шість-вісім пожежних. Для аварійно-рятувальних робіт залучається як мінімум одна аварійно-рятувальна машина та три-чотири пожежних. Для інших оперативних дій повинні бути передбачений пожежний автомобіль первинної допомоги щонайменше з двома-три пожежних [85]. Оперативний регламент також визначає пожежно-рятувальні автомобілі, для яких озброєння може відрізнятися від визначених вище.

Великій вибір різноманітної аварійно-рятувальної техніки у рятувальних центрах Франції та вміння рятувальників здійснювати різноманітні варіанти ОР дозволяє ефективно реагувати на ліквідацію НС [86,87]. Це добре видно на прикладі масштабної техногенної НС яка сталося 26 вересня 2019 року, коли на площі три гектари зайнялося 5253 тони хімічних речовин, легкозаймистих

продуктів на промисловому майданчику фабрики Lubrizol, внаслідок чого на складах Normandie Logistique площею 7000 м^2 зайнялося 4252 тони готової продукції, упакованих у бочки, які служать добавками для палив та мастил. До ліквідації наслідків НС було залучено 46 рятувальних екіпажів, 270 пожежних, при цьому командир першого пожежно-рятувального підрозділу вірно оцінив ситуацію та здійснив локалізацію основного осередку НС пінною атакою, внаслідок чого не допустили загорання запасу пентасульфіду фосфору, запобігаючи таким чином викиду дуже токсичних парів сірководню та фосфорної кислоти. Внаслідок його виклику чисельної допомоги інші залучені підрозділи ліквідували НС на іншій території [88].

Пожежна служба у Великій Британії, яка вважаться найпрофесійною у світі, згідно [89,90] організована за територіальним принципом, існує три рівні управління протипожежної службою країни. Кожному рівню відповідає певна компетенція. Перший рівень - національний (Англія, Уельс, Шотландія, Північна Ірландія). Другий рівень - регіональний. Велика Британія поділена на 9 регіонів, в кожному діє пожежно-рятувальні станції. Третій рівень – місцевий.

Добровольці у Великій Британії розглядається як доповнення до професійних підрозділів і залучаються до гасіння пожеж та ліквідації НС за необхідністю [91,92]. У сільській територіальних громадах і невеликих населених пунктах пожежні-добровольців доповнюють професійні пожежно-рятувальні підрозділи [93,94]. Пожежні підрозділи до складу яких входять тільки пожежні добровольці формуються тільки в Шотландії і Північній Ірландії.

Пожежні автоцистерни та автонасоси займають домінуюче положення в типажах пожежних машин різних країн (70-80% загального виробництва ПРА) [95]. В Європі в пожежно-рятувальних підрозділах використовуються пожежно-рятувальні автомобілі усі трьох класів. Але найбільш широко застосовується у пожежно-рятувальних підрозділах, станціях, пунктах, автоцистерни середнього та легкого класу та автонасоси що використовуються для гасіння пожеж у містах населених пунктах [96]. Аварійно-рятувальну техніку важкого класу

використовують переважно на потенційно-небезпечних підприємствах, виробничих зонах, там де не настільки гостро стоїть питання оперативності, а пріоритетом є тактико-технічні характеристики ПРА [97].

Це пояснюється насамперед тим, що в Європі виробляється широка гама автомобілей середньої вантажопідйомністю та шасі до них відомих фірм; Mercedes-Benz, MAN, IVECO-MARGUS, SCANIA, RENAULT тощо. Усі ПРА застосовують серійні (комерційні) шасі з незначними доробками, необхідними для установки пожежної надбудови [98].

Крім того, планування забудови багатьох Європейські міст дуже схожа і має свої особливості, щільна інфраструктура, багато вузьких вулиць значна кількість яких - в одну сторону, напружений режим транспортного потоку, підвищення природного приросту населення. Тому застосовуються ПРА середнього та легкого класу, що володіють більш високою мобільністю і маневреністю, в умовах європейських міст дозволяє як скоріше прибувати на місця виникнення НС, так і мати можливість ефективного проведення ОР [99].

В Європейських країнах визначили найбільш пріоритетним напрямком забезпечити пожежно-рятувальних підрозділах багатофункціональними (ПРА) легкого та середнього класу [100].

Країною, де організація пожежно-рятувальної служби вважається однією з найкращих, вважається Японія. Її підхід до оперативно-рятувальної роботи взяли за основу в Гонконзі, Новій Зеландії, Австралії [101]. В основі діяльності пожежно-рятувальних служб в цій країні лежить Закон о пожежній службі [102], у відповідності якого муніципалітети створюють або всі, або частину наступних трьох категорій органів протипожежного захисту: центр протипожежного захисту, пожежні станції та/або підрозділи добровільного пожежно-рятувального корпусу [103].

Незважаючи на те, що підрозділи добровільного пожежного корпусу складають більше 80% від кількості всіх підрозділів, основну оперативну роботу гасінню пожеж та ліквідації техногенних НС виконують штатні підрозділи. Це добре видно з аналізу того пожежної та аварійно-рятувального

техніки, яка передбачена в підрозділі [104,105]. Так, підрозділи добровільного пожежного корпусу мають тільки пожежні автомобілі двох класів (малогабаритні насосні та насосні пожежні автомобілі нормального розміру) та захисний одяг для пожежних-добровольців [106]. В той же час, на прикладі пожежного департаменту Токіо (до складу входять три центри протипожежного захисту, 80 пожежних станцій та 206 філіалів) [107], професійні підрозділи забезпечуються не тільки пожежними автомобілями (а їх вже сім класів, включаючи двотонні та п'ятитонні насосні танки, авто драбини та колінчасті підйомники, пожежні автомобілі для дальньої насосної подачі води тощо), але й рятувальні вантажівки трьох типів, гірничорятувальні автомобілі, HAZMAT вантажівки чотирьох класів, а також, з урахуванням особливостей мегаполісу, машинами швидкої допомоги, гвинтокрилами, мотоциклами та пожежними катерами. Тобто, реально використовуються автоцистерни також трьох масових класів.

Для забезпечення ліквідації масштабних НС в Японії функціонують 3 регіональні бази реагування [108]. Рівень як професійних, так і добровільних пожежно-рятувальних команд значною мірою визначаються структурою організації та фінансуванням в кожній префектурі, рівнем штатного розкладу, методами набору та навчання, завданнями які їм призначені, АРТ та оснащенням, яким вони забезпечені. Відповідно до [109,110] в Японії постійно приділяють увагу розробки рекомендацій та планів у випадку виникають НС катастрофи та аварії з викидом НХР, боротьба з ними висуває вищі вимоги до професійних навичок рятувальних команд, необхідної кількості АРТ та належного рівня підготовленості. Характерним прикладом високоефективної роботи професійних пожежно-рятувальних підрозділів Японії можна вважати оперативні дії з ліквідації наслідків НС на нафтопереробному підприємстві місті Оіта префектури Вакаяма, яка мала місце 22 січня 2017, коли в наслідок займання в резервуарів сталося масштабна пожежа. Перші пожежно-рятувальні бригади вчасно приступив до оперативних дій, залучили чисельну допомогу близько 40 пожежно-рятувальних автомобілей та не допустили вибуху [111].

Свідченням того, як дії першого підрозділу впливають на процес ліквідації надзвичайної ситуації, є НС, яка мала місце 24 травня 2015 року на двох підприємствах заводу компанії Nippon Steel & Sumikin Pipe Co.Ltd. недалеко від Токійського аеропорту Ханеда, коли виникла пожежа, шо перекинулась на сусідню будівлю заводу Kao Corporation - одного з найбільших в Японії виробників хімічних речовин [112].

Наведені приклади показують, що існує багато ризиків у робочому середовище рятувальників, серед яких є екстремальні температури навколишнього середовища за різної пори року [113]. Так, в [114] відмічене, що кількість пожеж у зимовий час суттєво збільшується не тільки в житловому секторі, але й на промислових об’єктах. Це призводить до збільшення кількості оперативних розгортань залучених ПРА. В той же час, у [115,116] зазначаються фактори небезпеки під час проведення оперативного розгортання в зимовий період. Так, близько 80000 пожежних у США зазнають різноманітних травмувань серед яких наслідки проведення оперативних дій у зимовий період [117]. У [118,119] зазначається, що на пожежного при низьких температурах середовища також впливає ефект так названий індекс охолодження вітром.

Пожежні підрозділи у США [120], в юрисдикціях яких виникають періоди впливу екстремальна низьких температур, розробляють плани і програм які передбачають належний рівень підготовки та технічного забезпечення оперативної роботи зимою. Відповідно [121] професійна кваліфікація як професійних підрозділів, так і пожежних команд, які складаються з добровольців, повинні мати навички не тільки по виконанню безпомилкового оперативного розгортання пожежних автомобілів, які стоять у них на озброєнні, але й адаптувати їх до вимог конкретної ситуації в залежності від чинників, які можуть впливати на дії особового складу при проведенні оперативного розгортання [122,123]. В [124] наведена методика вимірювання ефективності, яка спирається на час виконання процедур оперативного розгортання, пожежогасіння та рятування з урахуванням особливості задіяного персоналу та обладнання. В той же час, в [125], де наведена методика застосування пожежно-

технічного оснащення пожежного автомобіля під час проведення оперативного розгортання, у тому разі з урахуванням пори року, питання, пов’язані з особливостями автоцистерн різного класу, не розглядаються.

Особливості дій пожежно-рятувальних підрозділів під час виконання оперативного розгортання відділень на пожежних автомобілях, розглянуто в [126,127], де було визначено, що найбільш раціональним варіантом буде той, коли весь склад оперативного розрахунку відділення закінчує свої дії одночасно, тобто кожен номер оперативного розрахунку витратить однакову кількість часу на виконання своїх операцій. Але і тут особливості оперативного розгортання, пов’язані з класом пожежно-рятувальної техніки та з порою року або метеорологічними чинниками, не розглядається.

В [128,129] розглянуті об’єктивні чинники (пора року та час доби, опади, висота сніжного покрову, вітер, кількість та вид задіяного обладнання тощо), які впливають на ефективність проведення оперативної діяльності особовим складом пожежно-рятувальних підрозділів. Але кількісні оцінки там не наводяться, як це не зроблено і в [130], де розглянуто суб’єктивні чинники (раціональна послідовність виконання оперативного розгортання, професійні якості рятувальників, можливості людини тощо).

Таким чином, особливості проведення оперативних розгортань аварійно-рятувальних служб в провідних країнах світу в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру визначаються первинною інформацією від першого рятувального підрозділу, який прибув на місце катастрофи, що визначає вступ в дію одного з варіантів заздалегідь розробленого плану ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

1.2. Оперативне розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів в Україні

В Українні щороку виникає [131] значна кількість пожеж та НС у ліквідації яких, задіяні підрозділи оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та аварійно-рятувальна техніка [132].

Відповідно близько 80% ліквідацій НС та гасіння пожеж проходить з залученням саме пожежних автоцистерн [133], яка є матеріальною основою забезпечення оперативно-тактичних дій пожежно-рятувальних підрозділів України. Відповідно до [134] оперативне розгортання сил і засобів – це приведення сил і засобів пожежно-рятувальних підрозділів в стан готовності для виконання поставлених завдань під час пожежі, процес взаємодії номерів оперативного розрахунку на пожежних автоцистернах між собою і дій із застосуванням пожежно-технічного обладнання. При цьому оперативні розгортання перших пожежно-рятувальних підрозділів складають 65-80 відсотків загального обсягу роботи першого відділення в залежності від регіону, а під час ліквідації надзвичайних ситуацій оперативні розгортання із залученням автоцистерн виконуються майже у 90% всіх випадків [135].

В Україні, як й у всьому світі, розширюються функції та завдання підрозділів оперативно-рятувальної служби [136]. Звичайні пожежні автомобілі перетворюються на пожежно-рятувальні автомобілі, що комплектуються додатковим аварійно-рятувальним обладнанням, електротехнічним та освітлювальним обладнанням, яке використовується під час ліквідації різних надзвичайних ситуацій, а не тільки на пожежі. Практично майже 70% всього парк складається з ПРА виготовлених на базі шасі ЗИЛ-130 та ЗИЛ-131, які застаріли але тільки для них існують нормативні вимоги щодо проведення оперативних розгортань. Згідно [137] на озброєння підрозділів ДСНС України стали надходити пожежні автоцистерни на шасі автомобіля МАЗ-5309 в кількості 292 одиниці. Дані пожежні автомобілі (АЦ-4-60 (5309)-505М, АЦ-4-60 (5309)-515) за своїми технічними характеристиками відноситься до пожежних

автоцистерни важкого класу. Вони суттєво різняться за своїми характеристиками від звичних пожежних автоцистерн на шасі ЗИЛ та КамАЗ. Сучасна пожежна автоцистерна створена за прикладом Європейських ПРА за принципом багатофункціональності. Місткість цистерни за кількістю води, є головним параметром що вивозиться, розподіл кількості ПРА в Україні за місткістю цистерни до 2500 л – 3189 од. (91 %), з місткістю цистерни до 5000 л – 294 од. (8,4 %), з місткістю цистерни до 8 000 л – 21 од. (0,6 %). В результаті у більшості пожежно-рятувальних підрозділах в оперативному розрахунку використовують пожежні автоцистерни трьох масових класів [138]. При цьому автоцистерни легкого класу використовують переважно у містах, оскільки пожежні автоцистерни з запасом води до 2 тони є більш маневреними, швидше прибувають до місця виклику та забезпечують гасіння пожежі на початковій стадії її розвитку [139].

Пожежні автоцистерни важкого класу із запасом води від 4 т витрачають більше часу на прибуття до місця події, але забезпечують більш тривале автономне гасіння пожежі без встановлення на вододжерело, і тому такі автомобілі доцільно використовувати на територіях з обмеженими водними ресурсами [140]. Габарити автоцистерни важкого класу в повній мірі не дозволяють задіяти в міських частинах в яких район виїзду охоплює стару частину міста (вузька проїзна частина вулиць, низькі по висоті заїзди в внутрішні двори та ін.) чим саме зменшуєш його можливість маневрування, внаслідок ефективність [141].

Таким чином, оперативне розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів в Україні проводитися відповідно до планів ліквідації надзвичайної ситуації в підрозділах об’єктового, міського і регіонального рівнів. На жаль, інформація про масштаби і особливості конкретної надзвичайної ситуації враховується в ході реалізації плану.

Тому завданням наукового дослідження є розробка оперативно-технічної методики скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру,

яка повинна враховувати як оперативні (рівень підготовки особового складу та вплив надзвичайної ситуації), так і технічні умови бойової роботи.

Висновки за першим розділом

1. Особливості проведення оперативних розгортань аварійно-рятувальних служб в провідних країнах світу в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру визначаються первинною інформацією від першого рятувального підрозділу, який прибув на місце катастрофи, що визначає вступ в дію одного з варіантів заздалегідь розробленого плану ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

2. Оперативне розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів в Україні проводитися відповідно до планів ліквідації надзвичайної ситуації в підрозділах об’єктового, міського і регіонального рівнів. На жаль, інформація про масштаби і особливості конкретної надзвичайної ситуації враховується в ході реалізації плану.

Тому завданням наукового дослідження є розробка оперативно-технічної методики скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, яка повинна враховувати як оперативні (рівень підготовки особового складу та вплив надзвичайної ситуації), так і технічні умови бойової роботи.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПЕРШОГО РЯТУВАЛЬНОГО ПІДРОЗДІЛУ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ТА ОПЕРАТИВНО-ТЕХНІЧНОЇ МЕТОДИКИ НА ЇЇ ОСНОВІ

Другу задачу наукового дослідження будемо виконувати наступним чином. Насамперед розробимо математичну модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру. Потім на її основі розробимо методику скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

2.1. Математична модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Розробку математичної моделі будемо виконувати наступним чином. Першочергово сформуємо початкові та граничні умови функціонування розробленої математичної моделі. Потім розкриємо процес розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Після чого розглянемо варіанти застосування сил та засобів у вигляді однофакторних моделей. Потім розглянемо порядок аналізу вагомих коефіцієнтів в однофакторних

моделях. Після чого розглянемо порядок експертних оцінок и вибору оперативно-технічних рекомендацій. На завершення опишемо шукану математичну модель.

2.1.1. Початкові та граничні умови функціонування розробленої математичної моделі. Нехай процес ліквідації НС техногенного характеру здійснюється умовною системою «рятувальник – аварійно-рятувальна техніка – НС». Цю «умовну систему» надалі будемо називати як система.

Теоретично ця система має ряд особливостей.

По перше – має велику кількість підсистем («людина», «техніка», «середовище»), для кожної з яких визначається мета функціонування, що є підпорядкованою загальному завданню ліквідації надзвичайної ситуації;

По друге – має ієрархічну структуру зв’язків між загальним критерієм для всієї системи в цілому та частковими, локальними критеріями, які формуються для окремих підсистем (пора року впливає як на розвиток техногенної надзвичайної ситуації, так і на час оперативного розгортання, а, відповідно, і на час проведення АРР);

По третє – існують внутрішні зв’язки (недостатній рівень підготовленості навіть одного рятувальника в бойовому розрахунку може зробити неможливим використання можливостей аварійно-рятувальної техніки);

Четверте – має місце необхідність постійного управління системою (вибір конкретно визначеного керівником ліквідації НС варіанту оперативного розгортання в залежності від характеру НС у відповідності до Класифікатору);

П’яте – структура та процес функціонування системи (рятувальна техніка, яка використовується особовим складом, рівень підготовленості рятувальників, умови, в яких вони працюють) постійно міняються;

Шосте – має місце багатокритеріальність функціонування системи (ліквідація техногенної НС повинна відбуватись без загроз до загибелі або травмування особового складу, виходу із строю рятувальної техніки).

В цій системі в якості вихідних даних присутні показники, що характеризують безпосередньо особовий склад оперативного розрахунку (множина $X_{РЯТ}$), оперативно-рятувальний автомобіль та його обладнання (множина $X_{ОРА}$), умови проведення АРР (множина $X_У$) та надзвичайну ситуацію ($X_{НС}$).

Сукупність цих чинників складають умови функціонування моделі, яка розробляється. Враховуючи те, що вихідні данні розглядаються на момент виникнення НС, в результаті чого в кожній множині відсутні спільні перемінні, можна вважати; множини $X_{РЯТ}$, $X_{ОРА}$, $X_У$ та $X_{НС}$ складають надмножину X.

2.1.2. Процес розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Виходячи з того, що надмножина X визначає умови функціонування системи, справедливо

$$X = X_{РЯТ} \cup X_{ОРА} \cup X_У \cup X_{НС}. \qquad (2.1)$$

При цьому, в нормативній документації ДСНС України визначається порядок ліквідації (локалізації) НС, який уявляє собою множину варіантів проведення АРР, основу яких в діях першого підрозділу складають оперативні розгортання

$$Q = \langle \{Q_m\};\ m = 1,...,n_m;\ \varphi_1 : K_m \times X \to Q_m \rangle, \qquad (2.2)$$

де Q_m – m-й варіант проведення АРР;

n_m – кількість варіантів бойової роботи;

K_m – множина, яка упорядковує правила організації системи таким чином, щоб за вихідних показників X отримати m-й алгоритм ліквідації (локалізації) НС;

φ_1 – відображення $K_m \times X$ в множину Q.

В процесі функціонування системи під час виконання окремих складових (наприклад, типових операцій оперативного розгортання), які забезпечують проведення АРР для обраного варіанту Q*, на інтервалі T має місце множина ефектів

$$G^* = \left\langle \left\{ G_k^* \right\}; k = 1,..., n_k; \varphi_2 : Z_k \times Q^* \times T \to G_k^* \right\rangle, \qquad (2.3)$$

де G_k^* – ефект від виконання k-ої складової обраного варіанту проведення АРР;

n_k – кількість складових для Q*;

Z_k – множина, яка упорядковує зв'язки між елементами множини Q* та результатом виконання окремих складових процесу проведення АРР;

φ_2 – відображення $Z \times Q^* \times T$ у множину G* (визначення ефектів).

Це відображення уявляє собою фактично процес визначення ефектів від реалізації визначених складових обраного варіанту проведення АРР. Такі ефекти можуть бути визначеними як в результаті використання заздалегідь визначених функціональних залежностей

$$G_k^* = F_k^*(X, T), \qquad (2.4)$$

кожна з яких фактично є закономірністю виконання рятувальниками k-ої складової обраного процесу проведення АРР, так і отримані після проведення натурних досліджень. В останньому випадку реалізація Z_k уявляє собою порядок отримання емпіричних даних.

Якщо окремі властивості системи, у тому разі множина G, є частковими властивостями системи, то її ефективність уявляє собою нормований до вихідних перемінних X результат функціонування системи на визначеному інтервалі часу, тобто ефективність проведення обраного варіанту АРР за умови визначення множини G уявляє собою упорядковану множину

$$Y^* = \left\langle \left\{ Y_q^* \right\}; q = 1,...,n_q; Y_1^* > Y_2^* > ... > Y_{n_q}^*; \varphi_З : H_q^* \times X \times G^* \to Y_q^* \right\rangle, \quad (2.5)$$

де Y_q^* – q-й показник ефективності;

n_q – кількість показників ефективності;

H_q^* – множина (наприклад, технічні засоби підготовки рятувальників, у тому разі штатні пожежно-рятувальні автомобілі), яка встановлює зв'язок між вихідними даними X та результатами G виконання окремих складових оперативного розгортання у відповідності до обраного варіанту проведення АРР;

$\varphi_З$ – відображення $H_q^* \times X \times G^*$ у множину Y* (наприклад, визначення показників ефективності за результатами проведення натурних імітаційних експериментів).

У виразі (2.5) враховуються як технічні ($X_{ОРА}$), так і оперативні ($X_{РЯТ}$, $X_У$, $X_{НС}$, Q) складові функціонування системи, внаслідок чого множина Y відображає оперативно-технічний характер проведення АРР, а її можна розглядати як закономірність проведення АРР

$$Y^* = F^*(X) \quad (2.6)$$

у відповідності до обраного варіанту, оскільки вона уявляє собою закономірність, що відображає функціонування системи, встановлюючи

об’єктивний, повторюваний за визначених умовах зв'язок між показниками якості системи та притаманними їй ефектами.

2.1.3. Варіанти використання сил і засобів у вигляді однофакторних моделей. Виходячи з цього, цілями оцінки процесу АРР, які спираються на натурні імітаційні експерименти, є: встановлення причинно-наслідкових зв’язків між обраними факторами, які впливають на систему, та результатами її функціонування; розкриття закономірностей проведення АРР в залежності від оперативних та технічних складових, які характеризують систему; уточнення на основі отриманої функціональної залежності таких правил організації системи, за яких буде перевищено визначене значення показника ефективності.

Впорядкованість множини Y дозволяє перейти від (2.6) до багатофакторної поліноміальної моделі, розробка якої спирається на відповідний план імітаційного експерименту, при виборі якого необхідно враховувати те, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності проведення АРР та взаємодіяти між собою. В цьому випадку нелінійний вплив факторів в поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним уявленням, а ефекти взаємодії – відповідним коефіцієнтами при добутках факторів, що розглядаються.

З урахуванням вищевикладеного поліноміальна модель проведення АРР в загальному вигляді має вид

$$Y = a_0 + a_1X_1 + ... + a_nX_n + a_{11}X_1^2 + ... + a_{nn}X_n^2 + \\ + a_{12}X_1X_2 + ... + a_{(n-1)n}X_{n-1}X_n, \qquad (2.7)$$

де $X_1,...,X_n$ – обрані для дослідження фактори, які конкретизують початкові перемінні.

Оскільки порівняльна оцінка обраних для розгляду факторів повинна виконуватись в нормованих перемінних $x_1,...,x_n$, необхідно отримати тотожній (2.7) вираз

$$y = b_0 + b_1x_1 + ... + b_nx_n + b_{11}x_1^2 + ... + b_{nn}x_n^2 + b_{12}x_1x_2 + ... + b_{(n\ 1)n}x_{n\ 1}x_n . \quad (2.8)$$

В цьому випадку обґрунтування пропозицій щодо підвищення ефективності функціонування системи здійснюється за результатами ранжування факторів x_i за ступенем впливу на ефективність проведення АРР

$$y = b_0 + b_1x_1 + ... + b_nx_n + b_{11}x_1^2 + ... + b_{nn}x_n^2 + b_{12}x_1x_2 + ... + b_{(n-1)n}x_{n-1}x_n$$

$$\Downarrow$$

$$\left(x^{(1)}_{i\in(1,\ n)} \geq x^{(2)}_{j\in(1,\ n;\ j\neq i)} \geq ... \geq x^{(n)}_{\gamma\in(1,\ n;\gamma\neq i\neq ...\neq j)}\right)$$

шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей, отриманих при стабілізації інших $x_{j\neq i}$ факторів

$$y = f_i(x_i) \quad (2.9)$$

Іншими словами, робота (функціонування умовної системи «рятувальник – аварійно-рятувальна техніка – надзвичайна ситуація») може бути представлена у вигляді сукупності однофакторних моделей.

2.1.4. Порядок аналізу вагомих коефіцієнтів в багатофакторних моделях. При відборі основних факторів доцільно враховувати побажання експертів, які залучаються до аналізу закономірності проведення оперативного розгортання АРТ, не розглядати одночасно більше трьох факторів. Це вони пояснюють тим, що вплив більшої кількості факторів,

які впливають на систему оцінити складно, оскільки її стан постійно та достатньо швидко змінюється. З урахуванням цього та результатів аналізу особливостей проведення ОР ПРТ, наведених в розділі 1, виділені такі значимі фактори, які характеризують процес ліквідації НС техногенного характеру як системи: x_1 – клас пожежного автомобіля; x_2 – рівень підготовленості особового складу; x_3 – пора року.

Аналіз відібраних факторів та результати експериментальних досліджень [142,143] показують, що клас пожежно-рятувального автомобіля впливає на час оперативного розгортання нелінійно. Враховуючи те, що на сьогоднішній день перші оперативно-рятувальні підрозділи використовують пожежно-рятувальні автомобілі трьох класів, оцінку впливу фактору x_1 доцільно здійснювати тоді, коли вона міняється на двох рівних інтервалах (x_1=-1 – важкий клас, x_1=0 – середній клас, x_1=+1 – легкий клас пожежно-рятувального автомобіля).

В той же час, стосовно рівня підготовленості та пори року для оперативних розгортань, пов’язаних з НС техногенного характеру можна говорити тільки про два рівні: початковий (x_2=-1) і фаховий (x_2=+1) рівень підготовленості стосовно особового складу та літо-весна (x_3=+1) і зима-осінь (x_3=-1) стосовно пори року. При цьому очевидним є взаємозв’язок між рівнем підготовленості та класом пожежно-рятувального автомобіля (більш важкий клас вимагає більших знань від особового складу та кращої практичної підготовленості), а також між результатами оперативного розгортання в залежності одночасно від рівня підготовленості та пори року, або ефективності використання пожежно-рятувальних автомобілів різного класу за різної пори року.

Все це зумовлює вибір плану 3х2х2 для проведення багатофакторного експерименту. Враховуючи те, що в цьому випадку для реалізації обраного плану достатньо отримати по 12 оцінок середніх значень часу оперативного розгортання за обраним варіантом ліквідації (локалізації) НС та по 12 значень відповідних середньоквадратичних

відхилень, вихідні дані цілком реально отримати за результатами імітаційного фізичного моделювання відповідних дій рятувальників біля осередку надзвичайної ситуації техногенного характеру.

Реалізація плану 3x2x2 в процесі проведення багатофакторного імітаційного експерименту дозволяє отримати трифакторну поліноміальну модель часу оперативного розгортання (в кодованих перемінних) пожежно-рятувальних автомобілів в загальному вигляді типу

$$y(x) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \\ + b_2 \cdot x_2 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_3 \cdot x_3 \quad (2.10)$$

При цьому модель буде мати гарні статистичні характеристики та кращі по точності оцінки всіх коефіцієнтів регресії {ks}.

Упорядкування результатів багатофакторного імітаційного фізичного моделювання таким чином, що найгірші показники відповідають рівню "-1-1-1", а найкращі – "+1+1+1", а стосовно класу пожежно-рятувального автомобіля розгляд також середнього рівня "x_1=0", дозволяє суттєво спростити побудову конкретних поліноміальних моделей, які необхідно знайти, оскільки в результаті цього під час розрахунку оцінок коефіцієнтів b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} можна використовувати готові формули:

$$b_0 = A_0(0Y) - \sum A_{0i}(iiY), \quad (2.11)$$

$$b_i = A_i(iY), \quad (2.12)$$

$$b_{ij} = A_{ij}(ijY), \quad (2.13)$$

$$b_{ii} = A_{ii}(iiY) - A_{0i}(OY), \quad (2.14)$$

де $A_0, A_{0i}, A_i, A_{ij}, A_{ii}$ – постійні для розрахунку коефіцієнтів регресії при симетричних планах; $0Y, iiY, iY, ijY$ – суми результатів експериментів.

Для розрахунку значень дисперсій оцінок отриманих коефіцієнтів використовуються вирази

$$\sigma^2\{b_0\} = A_0 \cdot \sigma^2, \tag{2.15}$$

$$\sigma^2\{b_i\} = A_i \cdot \sigma^2, \tag{2.16}$$

$$\sigma^2\{b_{ij}\} = A_{ij} \cdot \sigma^2, \tag{2.17}$$

$$\sigma^2\{b_{ii}\} = A_{ii} \cdot \sigma^2, \tag{2.18}$$

де σ^2 – дисперсія результатів експериментів.

Визначення оперативно-технічних рекомендацій шляхом аналізу відповідних однофакторних моделей $y = f_i(x_i)$, отриманих при стабілізації інших факторів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Однофакторні моделі $y = f_i(x_i)$ при різних умовах стабілізації

Фактор	В зоні максимуму	В центрі факторного простору	В зоні мінімуму
1	2	3	4
x_1	$y = (b_0 - b_2 - b_3) + (b_1 - b_{12} - b_{13}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$	$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$	$y = (b_0 + b_2 + b_3 + b_{22} + b_{33}) + (b_1 + b_{12} + b_{13}) \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_{11}^2$

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
x_2	$y=(b_0-b_1-b_3+b_{11})+$ $+(b_2-b_{12}-b_{23})\cdot x_2$	$y=b_0+b_2\cdot x_2$	$y=(b_0+b_1+b_3+b_{11})+$ $+(b_2+b_{12}+b_{23})\cdot x_2$
x_3	$y=(b_0-b_1-b_2+b_{11})+$ $+(b_3-b_{13}-b_{23})\cdot x_3$	$y=b_0+b_2\cdot x_2$	$y=(b_0+b_1+b_2+b_{11})+$ $+(b_3+b_{13}+b_{23})\cdot x_3$

Аналіз табл. 2.1 показує, що однофакторні моделі, визначені на рівнях, що відповідають координатам екстремумів $y_{i\ min}$ та $y_{i\ max}$, а також в центрі факторного простору y_0 можуть відрізнятись. Відповідно можуть відрізнятись і пропозиції щодо ефективності проведення оперативного розгортання першого ОРП, які будуть отримані для центра факторного простору за результатами аналізу стовпчика 3 табл. 2.1 та для його країв (отримуються за результатами аналізу стовпчиків 2 та 4 табл. 2.1). Тобто, обґрунтування пропозицій доцільно здійснювати за максимальними перепадами Δy.

Для визначення того, які вихідні чинники з множини X вимагають першочергової уваги в центрі факторного простору $\left(x_0^{(i)}\right)$ та на його краях $\left(x_{min}^{(i)};\ x_{max}^{(i)}\right)$ необхідно проранжувати у відповідності з вагою коефіцієнтів при відповідній змінній в (2.7)÷(2.9) в центрі факторного простору

$$\left(x_0^{(1)} \geq x_0^{(2)} \geq x_0^{(3)}\right) = \text{rang}\left\{\begin{matrix}\left|b_{y_0(x_1)}\right| \\ \left|b_{y_0(x_2)}\right| \\ \left|b_{y_0(x_3)}\right|\end{matrix}\right\} \qquad (2.19)$$

та на його краях

$$\left(x^{(1)}_{\min,(\max)} \geq x^{(2)}_{\min,(\max)} \geq x^{(3)}_{\min,(\max)}\right) = \quad . \qquad (2.20)$$

$$= \text{rang}\left\{\begin{array}{l}\left|b_{y_{\min,(\max)}}(x_1)\right| \\ \left|b_{y_{\min,(\max)}}(x_2)\right| \\ \left|b_{y_{\min,(\max)}}(x_3)\right|\end{array}\right\}$$

Аналіз ваги коефіцієнтів в однофакторних моделях (табл. 2.1) у відповідності до (2.19) та (2.20) дозволить провести ранжування обраних факторів та визначити, який з них є найбільш вагомим та навпаки у кожній зоні. Оскільки обґрунтування пропозицій в цьому випадку базується на (2.6), де враховано вплив (у тому разі нелінійний) не тільки безпосередньо кожного окремого показника x_i, але й ефекти взаємодії з іншими показниками $x_j (j \neq i)$, то вони (пропозиції) мають оперативно-технічній характер і стають основою конкретних оперативно-технічних рекомендацій, оскільки обрані фактори характеризують як технічну (фактор x_1), так і оперативну складові: роботу особового складу (людський фактор x_2) перших ОРП під час ліквідації НС техногенного характеру в умовах впливу навколишнього середовища (фактор x_3) під час оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів.

2.1.5. Порядок експертних оцінок і вибору оперативно-технічних рекомендацій. Інтерпретація отриманої моделі (2.10) проводиться при наростаючому ступені ризику відвернути правильну гіпотезу. Значимість коефіцієнтів регресії за цим методом перевіряється багатократно від рівня значимості $\alpha = 0{,}01$ до $\alpha = 0{,}5$, враховуючи під час оцінки похибок розрахунку коефіцієнтів регресії середню дисперсію вимірів.

При кожному рівні ризику будується граф зв'язку між факторами. Найбільш достовірним є висновки, які будуть зробленими по графу, який відповідає рівню значимості $\alpha = 0{,}01$. По графу, що відповідає рівню значимості $\alpha = 0{,}5$, робиться обережний «рівно можливий» висновок, який може бути корисним на стадії початку пошукових робіт.

Оскільки розробка оперативних рекомендацій відноситься до пошукових робіт, для аналізу є допустимим прийняття двостороннього ризику $\alpha = 0{,}2$. Це дозволить вилучити незначні ефекти та спростити для аналізу кінцеву модель (2.10) і вже після цього перейти до ранжування по максимальному перепаду Δy в однофакторних моделях $y = f_i(x_i)$, що одержані при стабілізації інших факторів x_i на рівнях, що відповідають координатам екстремумів y_{min} та y_{max}, а також в центрі факторного простору (табл. 2.1).

При цьому необхідно відмітити, що, оскільки під час ліквідації (локалізації) НС техногенного характеру особовий склад першого ОРП в залежності від ситуації може використовувати різні варіанти оперативного розгортання ПРА за результатами імітаційного фізичного експерименту можуть бути отримані різні моделі, в яких будуть відрізнятися відповідні коефіцієнти регресії {ks}, їх оцінка у відповідності до (2.11)-(2.18) та табл. 2.1 проводиться для кожної моделі окремо. Це дозволить конкретизувати оперативно-технічні рекомендації, тим більше що в кожній зоні факторного простору можна порівняти рангові послідовності за коефіцієнтами відповідних трифакторних поліномів після спрощення отриманих моделей.

Висновки цього аналізу за ранжуванням ваги факторів та їх взаємодії стануть основою конкретних рекомендацій, які відобразять як оперативну (дії особового складу першого ОРП за різних погодних умов), так і технічну (клас пожежно-рятувального автомобіля) складову процесу оперативного розгортання ПРТ під час ліквідації (локалізації) НС.

Для оцінки того, чи доцільно ці рекомендації впроваджувати в практичну діяльність, необхідно перевірити, наскільки значимо будуть відрізнятись обрані показники ефективності проведення АРР (час кожного із обраних для розгляду варіантів оперативного розгортання ПРА), отримані до і після впровадження рекомендацій. З цією метою необхідно спочатку визначити як зміняться закономірності (2.4) виконання рятувальниками k-ої складової системи

$$G_k = F_k(X - \Delta X, T), \qquad (2.21)$$

де ΔX – зміни у множині вихідних перемінних (2.1) за визначеними після аналізу результатів ранжування в різних зонах рекомендацій, у тому разі пов'язаних із можливою ситуацією зміни початкового варіанту k проведення аварійно-рятувальних робіт.

2.1.6. Математична модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру. Умови при яких процес оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів був представлений як система («умовна система» рятувальник - аварійно-рятувальна техніка - НС) дозволило процес оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів представити у вигляді функціоналу 2.6

$$Y^* = F^*(X)$$

де Y^* - сукупність показників ефективності;

X – надмножина характеристик функціонування системи.

Даний функціонал може бути розглянуто як сукупність однофакторних моделей (2.9), тобто:

$$y = f_i(x_i)$$

де у - конкретний показник ефективності;

x_i - характеристика *i*-го фактора при незмінності (стабілізації) всіх інших факторах.

Ранжирування вагомих коефіцієнтів в однофакторних моделях при вирішенні задач 3х2х2 здійснюється за допомогою виразів 2.19-2.20 записаних у вигляді (2.22)

$$\left(x^{(1)}_{\min,0,(\max)} \geq x^{(2)}_{\min,0,(\max)} \geq x^{(3)}_{\min,0,(\max)}\right) = \\ = \operatorname{rang}\left\{\begin{array}{l}\left|b_{y_{\min,0,(\max)}}(x_1)\right| \\ \left|b_{y_{\min,0,(\max)}}(x_2)\right| \\ \left|b_{y_{\min,0,(\max)}}(x_3)\right|\end{array}\right\} \tag{2.22}$$

Експертні оцінки і вибір оперативно-технічних рекомендацій описується виразом (2.21)

$$G_k = F_k(X - \Delta X,\ T)$$

Об'єднуючи вирази (2.6), (2.9), (2.22) та (2.21) в систему рівнянь отримаємо пошукову математичну модель

$$\begin{cases} Y^{*} = F^{*}(x); \\ y = f_i(x_i); \\ (x^{(1)}_{min,0,max} \geq x^{(2)}_{min,0,max} \geq x^{(3)}_{min,0,max}) = \\ = rang\left\{\begin{matrix} \left|b_{y_{min,0,(max)}}(x_1)\right| \\ \left|b_{y_{min,0,(max)}}(x_2)\right| \\ \left|b_{y_{min,0,(max)}}(x_3)\right| \end{matrix}\right\}; \\ G_k = F_k(X - \Delta X,\ T). \end{cases} \tag{2.23}$$

Таким чином, математична модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, що уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша – функціонал, який описує процес оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Друга залежність дозволяє уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя – забезпечує визначення вагових коефіцієнтів при вирішенні трифакторної задачі (вид пожежно-рятувального автомобіля, підготовка рятувальників, пора року). Четверта – дозволяє оцінити та вибрати оперативно-технічні рекомендації з ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

2.2 Розробка оперативно-технічної методики скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Керуючий алгоритм, який реалізує математичну модель (2.23), представлений на рис.2.1.

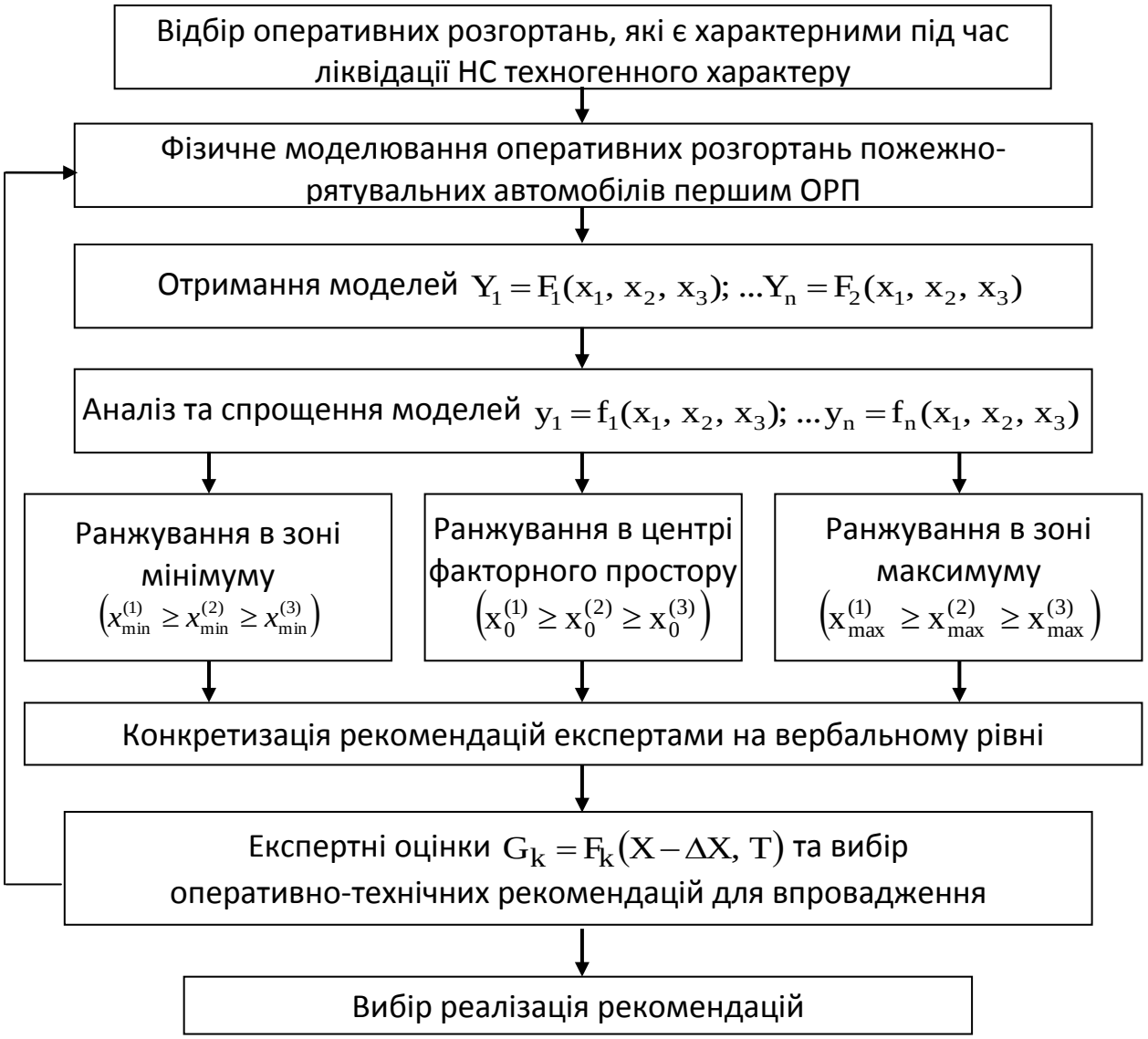

Рисунок 2.1 – Схема керуючого алгоритму реалізації методики скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Як зазначено на схемі алгоритму, ключовим етапом його роботи є експертна оцінка результатів фізичного моделювання оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів перших оперативно-рятувальних підрозділів, у тому числі й на етапі отримання першої прогнозної оцінки.

Оскільки визначення (2.21) відбувається як етап прогнозної порівняльної оцінки, його здійснення можливе як шляхом використання методу безпосередніх експертних оцінок, так і шляхом обґрунтування з урахуванням пропозицій фахівців нових нормативних показників оперативної діяльності рятувальників.

При цьому, розглядаючи оперативне розгортання ПРА у вигляді мережевого графіку, математичне очікування $\bar{t}_{бр}$ його тривалості можна визначити як суму окремих операцій $\bar{t}_i$ оперативного розгортання, що належать критичному $L_{кр}$ шляхові

$$\bar{t}_{op} = \sum_{L_{кр}} \bar{t}_i \,, \tag{2.24}$$

а дисперсію $\sigma^2_{бр}$ як суму відповідних дисперсій σ^2_i часу виконання окремих операцій оперативного розгортання

$$\sigma^2_{op} = \sum_{L_{кр}} \sigma^2_i \,. \tag{2.25}$$

Визначення показників, що характеризують як оперативне розгортання ПРА в цілому, так і окремі операції, з яких складається процес, що розглядається, для аварійно-рятувального обладнання, стосовно якого практично відсутні експериментальні дані щодо часу виконання, представляє значну складність. Час виконання окремих операцій, які становлять процес оперативної діяльності особового складу першого ПРП, носить імовірнісний характер, тому що залежить від безлічі важко прогнозованих факторів.

У зв'язку з цим можна припустити, що розподіл випадкових значень оцінок часу виконання окремих операцій, які можуть дати експерти,

описується не тільки нормальним законом розподілу

$$f(t_i)=\frac{1}{\sigma_i\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(t_i-\bar{t}_i)^2}{2\sigma_i^2}}, \qquad (2.26)$$

де $\bar{t}_i$ – математичне очікування часу виконання і-ої операції, що розглядається, с;

σ_i – середньоквадратичне відхилення, с.

але й, у випадку, коли скошеність показника часу виконання і-ої операції оперативного розгортання

$$Sk_i=\frac{1}{n\cdot G_i^3}\cdot\sum_{j=1}^{n}\left(t_{ji}-\bar{t}_i\right)\neq 0, \qquad (2.27)$$

де n – кількість незалежних експериментів; t_{ji} – результат j-го виміру і-ої операції, с;

$\bar{t}_i, \sigma_i$ – відповідно оцінки математичного очікування та середньоквадратичного відхилення виконання і-ої операції, с, істотно відрізняється від нуля, β-розподілом [144].

Застосування β-розподілу дозволяє використовувати метод трьох оцінок [145] для отримання основних параметрів розподілу – середнього значення (математичного очікування) і середньоквадратичного відхилення.

У цьому випадку знайти найбільш ймовірний $\tilde{t}_i$, мінімальний $t_{i\,min}$ та максимальний $t_{i\,max}\,t_{jmax}$ часу виконання j-ої операції. Для їх визначення кожний і-ий експерт надає відповідні індивідуальні оцінки виконання і-ої операції $\left\langle t_{ij\,min}, \tilde{t}_{ij}, t_{ij\,max}\right\rangle$. Це дозволяє усереднене очікуване значення, наприклад, $\tilde{t}_j$ розглядати у вигляді середньовиваженої

оцінки за спостереженнями всіх n експертів [154]

$$\tilde{t}_i = \sum_{j=1}^{n} V_{ij}(\tilde{t}_j) \cdot \tilde{t}_{ij}, \tag{2.28}$$

де $V_{ij}(\tilde{t}_j)$ – ваговий коефіцієнт j-го експерта при оцінці $\tilde{t}_i$, який розраховується як

$$V_{ij}(\tilde{t}_j) = \frac{1}{(\tilde{t}_{ij} - \bar{\tilde{t}}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{(\tilde{t}_{ij} - \bar{\tilde{t}}_j)^2}}, \tag{2.29}$$

де $\bar{\tilde{t}}_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} \tilde{t}_{ij}}{n}$.

За (2.26) та (2.27) аналогічним чином розраховуються $t_{i\,min}$ та $t_{i\,max}$.

Після того, як будуть виключені аномальні значення оцінок, що задовольняють нерівності

$$\left|\tilde{t}_{ij} - \bar{\tilde{t}}_i\right| \geq a \cdot \sigma_i(\tilde{t}_i), \tag{2.30}$$

де $a = 2{,}5 \div 3{,}0$; $\sigma_i(\tilde{t}_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^{n} (\tilde{t}_{ij} - \bar{\tilde{t}}_i)^2}$;

та, у разі необхідності, повторного розрахунку $\tilde{t}_i$, $t_{i\,min}$ та $t_{i\,max}$, можна визначити як параметри нормального розподілу, і в цьому випадку найбільш ймовірна оцінка часу виконання і-ої операції $\tilde{t}_i$ розглядається як

її математичне очікування $\bar{t}_i$, а середньоквадратичне відхилення як

$$\sigma_i \approx \frac{t_{i\max} - t_{i\min}}{6}, \tag{2.31}$$

так і параметри β-розподілу часу виконання і-ої операції оперативного розгортання.

Для цього використовуються характеристики β-розподілу з параметрами $\alpha > 1$ та $\beta > 1$, оскільки [146] в кодованих перемінних оцінка найбільш вірогідного часу виконання і-ої операції дорівнює

$$\tilde{x}_i = \frac{\tilde{t}_i - t_{i\min}}{t_{i\max} - t_{i\min}} = \frac{\alpha_i - 1}{\alpha_i + \beta_i - 2}, \tag{2.32}$$

а дисперсія цієї оцінки

$$\sigma^2(x_i) = \frac{\alpha_i \cdot \beta_i}{(\alpha_i + \beta_i)^2 \cdot (\alpha_i + \beta_i + 1)}. \tag{2.33}$$

З урахуванням переходу від кодованих перемінних до натуральних експертна оцінка математичного очікування часу виконання і-ої операції дорівнює

$$\bar{t}_i = t_{i\min} + \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i} \cdot (t_{i\max} - t_{i\min}). \tag{2.34}$$

Проте, групова оцінка вважається достатньо надійною тільки за умови доброї узгодженості залучених фахівців [145]. Тому статистичній обробці інформації, яка отримана від експертів повинна передувати оцінка

ступеня їх узгодженості. Результати експериментальних досліджень часу виконання окремих типових операцій [147], показують, що однією з важливих характеристик є рівень підготовленості оперативних розрахунків першого ОРП до виконання конкретної операції. Показниками цієї характеристики можуть бути скошеність (2.25) розподілу часу виконання операції та її мода, в якості якої використовується найбільш ймовірний час виконання даної операції (2.26).

В [147] відмічено, що мають місце випадки, коли оцінки найбільш ймовірного часу виконання операції у окремих експертів різко відрізняються від таких же оцінок інших фахівців. У зв'язку з цим по кожній і-ій операції необхідно перевіряти узгодженість думок експертів по тому, в якому місці інтервалу $\lfloor t_{i\min}; t_{i\max} \rfloor$ знаходиться найбільш ймовірний час $\tilde{t}_i$ її виконання і як це впливає на середній час виконання $\bar{t}_i$ операції.

Для цього отримані оцінки після кодування доцільно проранжувати за умови розподілення результатів за трьома рангами (m=3) наступним чином: якщо $\tilde{x}_i < 0.5$, то результати, що мають менший час, отримують ранг $v_1 = 1$; результати поблизу середини діапазону – $v_2 \approx 2$, а результати в другій половині діапазону – $v_3 = 3$. В іншому випадку $(\tilde{x}_i > 0{,}5)$: $v_1 = 3; v_2 = 2; v_3 = 1$. Коли ж експерт затрудняється у визначенні і встановлює оцінку в середині діапазону $(\tilde{x}_j \approx 0{,}5)$, приймається $v_1 = v_2 = v_3 = 2$.

Тобто, умова ранжування може бути записана як

$$\{v_1, v_2, v_3\} = \begin{cases} \{1,2,3\}, \text{ якщо } \bar{x}_j < 0.5; \\ \{3,2,1\}, \text{ якщо } \bar{x}_j > 0.5; \\ \{2,2,2\}, \text{ якщо } \bar{x}_j \approx 0.5. \end{cases} \qquad (2.35)$$

Крім того, прийнято такі позначення: q – кількість суперечливих оцінок, тобто тих, в яких відрізняється місце найбільш вірогідного часу виконання операції в порівнянні з місцем, яке вказує основна група експертів; p – кількість оцінок, в яких експерти не змогли вказати місце найбільш вірогідного часу виконання операції (у разі, коли всі експерти в якості найбільш ймовірного результату вказують середину діапазону, вважаємо q = p = 0). В такому випадку узгодженість думок експертів оцінюється за допомогою коефіцієнта конкордації W, тобто загального коефіцієнта рангової кореляції для групи, що складається з n експертів.

Для розрахунку значення коефіцієнта конкордації спочатку розраховується сума квадратів різниць (відхилень) за формулою

$$S = \sum_{i=1}^{m} \left\{ \sum_{j=1}^{n} v_{ij} \quad - \quad \frac{n}{2} \cdot n \cdot (m+1) \right\}^2 , \qquad (2.36)$$

де n – кількість експертів в групі;

m – кількість можливих показників (в нашому випадку m=3).

Тоді сумарне квадратичне відхилення від їх середнього значення для сумарних рангів факторів за найкращої узгодженості (коли всі експерти надають однакові оцінки) має вигляд

$$S_{\max} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot n^2 \cdot (m^2 - 1), \qquad (2.37)$$

а оскільки коефіцієнт конкордації розглядається як відношення фактично отриманої величини S до її максимального значення для групи експертів, яка залучена, то

$$W = \frac{S}{S_{max}} = \frac{12 \cdot S}{n^2 (m^3 - m)} = \frac{S}{2 \cdot n^2}. \qquad (2.38)$$

Отримане значення коефіцієнту конкордації W дозволяє оцінити невипадкову узгодженість експертів, використовуючи критерій χ^2 з відповідним рівнем значимості α.

На практиці метод безпосередньої експертної оцінки досить часто реалізується на основі оцінок від чотирьох до восьми спеціалістів. Для такої ситуації в [148] показано, що розрахунковий коефіцієнт конкордації більше допустимого у випадку

$$W \geq W_{доп}(\alpha = 0{,}05), \text{ якщо } \begin{cases} p = 0,\ q = 0 \ \text{ при } \ n \geq 4; \\ p = 1,\ q = 0 \ \text{ при } \ n \geq 5; \\ p = 0,\ q = 1 \ \text{ при } \ n \geq 7; \\ p = 1,\ q = 1 \ \text{ при } \ n \geq 8. \end{cases} \qquad (2.39)$$

при рівні значущості α=0,05 невипадкова узгодженість в думках експертів існує як в тих випадках, коли при $n = 4 \div 8$ всі фахівці однаково вказали діапазон, в якому знаходиться місце найбільш вірогідного часу виконання і-ої операції, так і в тих, коли має місце одна оцінка без уточнення місця знаходження $\tilde{t}_i$ при $n > 4$ або є одна суперечлива оцінка при $n > 6$. У разі залучення до експертної групи 8 фахівців допускається по одній суперечливою оцінці і однієї оцінці без уточнення місця знаходження.

Отримані результати математичного очікування $\bar{t}_i$ та середньоквадратичного відхилення σ_i часу виконання і-ої операції оперативного розгортання ПРА до і після реалізації визначених оперативно-технічних рекомендацій використовуються для оцінок (2.22) та

(2.23). Крім цього, експерти можуть визначити нові нормативні показники для (2.22) та (2.23) в цілому.

Наявність (2.21) дозволить знову провести імітаційне фізичне моделювання АРР особового складу першого ОРП за вихідними даними (2.22) та (2.23), які будуть відкоригованими стосовно первинних у відповідності до розроблених оперативно-технічних рекомендацій.

В результаті будуть отримані нові моделі, порівняння яких в натуральному вигляді з відповідними, що були отримані за первісними вихідними даними, дозволить оцінити наскільки ефект від впровадження буде значимим. У відповідності до цього розроблені пропозиції і будуть рекомендуватись для впровадження в остаточному вигляді.

Іншими словами, методика скорочення часу оперативного розгортання першим пожежно-рятувальними підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру представляє собою сукупність наступних послідовних дій:

1) вибір типових для проведення аварійно-рятувальних робіт першим оперативно-рятувальним підрозділом під час ліквідації (локалізації) надзвичайних ситуацій техногенного характеру оперативних розгортань пожежно-рятувальних автомобілів та їх фізичне моделювання у відповідності до плану 3х2х2 з урахуванням факторів, які характеризують клас пожежно-рятувального автомобіля, рівень підготовленості рятувальників та пору року;

2) отримання трифакторної поліноміальної моделі в нормованих перемінних, їх аналіз та спрощення з подальшим ранжуванням факторів в центрі факторного простору та на його краях;

3) експертне обґрунтування рекомендацій для впровадження;

4) вибір і реалізація оперативно-технічних рекомендацій.

Таким чином, оперативно-технічна методика скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру уявляє собою сукупність

чотирьох груп дій: перша – вибір типових для проведення аварійно-рятувальних робіт першим оперативно-рятувальним підрозділом під час ліквідації (локалізації) надзвичайних ситуацій техногенного характеру оперативних розгортань пожежно-рятувальних автомобілів та їх фізичне моделювання у відповідності до плану 3х2х2 з урахуванням факторів, які характеризують клас пожежно-рятувального автомобіля, рівень підготовленості рятувальників та пору року; друга – отримання трифакторної поліноміальної моделі в нормованих перемінних, їх аналіз та спрощення з подальшим ранжуванням факторів в центрі факторного простору та на його краях; третя – експертне обґрунтування рекомендацій для впровадження; четверта – вибір і реалізація оперативно-технічних рекомендацій.

Висновки за другим розділом

1. Математична модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша – функціонал, який описує процес оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Друга залежність дозволяє уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя – забезпечує визначення вагових коефіцієнтів при вирішенні трифакторної задачі (вид пожежно-рятувального автомобіля, підготовка рятувальників, пора року). Четверта – дозволяє оцінити та вибрати оперативно-технічні рекомендації з ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

2. Оперативно-технічна методика скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру уявляє собою сукупність чотирьох груп дій: перша – вибір типових для проведення аварійно-рятувальних робіт

першим оперативно-рятувальним підрозділом під час ліквідації (локалізації) надзвичайних ситуацій техногенного характеру оперативних розгортань пожежно-рятувальних автомобілів та їх фізичне моделювання у відповідності до плану 3х2х2 з урахуванням факторів, які характеризують клас пожежно-рятувального автомобіля, рівень підготовленості рятувальників та пору року; друга – отримання трифакторної поліноміальної моделі в нормованих перемінних, їх аналіз та спрощення з подальшим ранжуванням факторів в центрі факторного простору та на його краях; третя – експертне обґрунтування рекомендацій для впровадження; четверта – вибір і реалізація оперативно-технічних рекомендацій.

РОЗДІЛ 3

ПЕРЕВІРКА ДОСТОВІРНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПЕРАТИВНОГО РОЗГОРТАННЯ ПЕРШОГО РЯТУВАЛЬНОГО ПІДРОЗДІЛУ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ ТА МЕТОДИКИ, СТВОРЕНОЇ НА ЇЇ ОСНОВІ

Перевірку достовірності розробленої математичної моделі оперативного розгортання першого оперативно-рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру будемо виконувати наступним чином. По-перше, опишемо експериментально-випробувальну базу. Після цього розглянемо виконання на ній експериментальних досліджень часу проведення двох типових варіантів оперативного розгортання оперативно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом та здійснимо статистичну оцінку отриманих результатів. Наприкінці оцінимо достовірність кожного варіанту математичної моделі.

3.1. Експериментально-випробувальна база

3.1.1. Оперативно-рятувальні автомобілі. У якості оперативно-рятувального автомобіля важкого класу використовувалась пожежна автоцистерна важкого класу АЦ- 4-60 (5309)-505М - це сучасний дизельний повнопривідний основний ПРА, який відрізняються компонуванням, оригінальними технічними рішеннями, розширеною

комплектацією, включаючи обладнання для оперативної роботи в екстремальних умовах.

Рисунок 3.1 – Пожежно-рятувальний автомобіль важкого класу АЦ 4-60 (5309)-505М

Він призначений для:

– доставки до місця пожежі або НС оперативного розрахунку, пожежно-технічного обладнання та оснащення, аварійно-рятувального обладнання, вогнегасних засобів (піноутворювача, води), рятувальних засобів і надання першої медичної допомоги;

– подачі в осередок пожежі води з відкритого водоймища або пожежного гідранта, з власної цистерни через ручні стволи, або переносний ствол, або переносний лафетний ствол;

– подачі в осередок пожежі повітряно-механічної піни з використанням заправленого в пінний бак піноутворювача або з забором піноутворювача з сторонньої ємності, через ручні піногенератори;

– перекачка води при значному віддаленні водоймища від осередку пожежі;

– укладка напірних магістральних рукавних ліній;

– можлива робота автоцистерни як автомобіля водно-пінного гасіння при використанні цистерни в якості бака для піноутворювача.

В табл. 3.1 наведені основні тактико-технічні характеристики пожежно-рятувального автомобіля важкого класу, який використовувався під час проведення експериментальних досліджень

Таблиця 3.1 – Тактико-технічні характеристики автоцистерна важкого класу АЦ-4-60 (5309)-505М

Характеристика	Показник
Базове шасі	МАЗ-53095 / 4х4.1
Тип двигун	дизельний
потужність(макс), кВт(к.с.)	243 (330)
швидкість(макс), з повним навантаженням км/год	85
оперативний розрахунок, чол.	1+6
цистерна для води, $м^3$ (л), не менше	4 (4000)
бак для піноутворювача, $м^3$ (л), не менше	0,4 (400)
Вакуумна всмоктуюча система	Автономна, напівавтоматична з шиберним електроприводним насосом
Запас напірних рукавів (спільний), шт./м	20/400
Ствол лафетний стаціонарний	Protek Style 622 з ручним управлінням
Кількість ручних стволів, шт.	5
Насос	Пожежний відцентровий ПН-60Б-Р-Р
подача насоса, $м^3$/с (л/с)	0,06(60)
Напір насоса, м	100
Номінальна частота обертання. об/хв.	2700

Продовження табл.3.1

Найбільша геометрична висота всмоктування, м	7,5
Тривалість заповнення насоса при найбільшій геометричній висоті всмоктування, с, не більше	60
Габаритні розміри (довжина: ширина: висота), мм	8500: 2550: 3640
Маса автомобіля з повним навантаженням, кг	19000

Згідно вимог 2-ї та 3-ї частини стандарту EN-1846:2011 комплектування та компонування спеціальним пожежно-технічним обладнанням та оснащенням ПРА значною мірою залежать від того, до якої групи та підгрупи пожежно-рятувальної техніки належить автомобіль (чи це автомобіль для пожежогасіння та проведення рятувальних робіт, чи це автомобіль для підіймання на зазначену висоту тощо). Ці вимоги суттєво звужує простір для виробників спеціальної техніки, які зобов’язані беззастережно дотримуватись цих вимог.

Відсіки з пожежно-технічним та аварійно-рятувальним обладнанням знаходяться ліворуч та праворуч від цистерни, обладнанні шторними дверима. Розміщення обладнання враховує тактику його оперативного використання, забезпечує надійність фіксації обладнання, доступність, зручність і безпеку при зніманні та встановленні.

Устаткування розміщено (рис.3.1) по групах призначення: засоби індивідуального захисту; засоби зв'язку; ПТО для гасіння пожежі; рятувальне обладнання; аварійно-рятувальний інструмент; освітлювальний та електротехнічний комплекс. ПРА має різне гідравлічне обладнання: ножиці, домкрат, розтискачі для розрізання покрівлі і дверей автомобілей

після ДТП, а також бензомоторний інструмент марки Stihl, аптечки для надання домедичної допомоги, пневматичні подушки, лом Гéллігана і штурмова сокира пожежного. Автоцистерна оснащена потужною освітлювальної щоглою, а також генератором на 5 кВт. Передбачено розміщення в кабіні оперативного розрахунку, апаратів на стислому повітрі Drager PSS 4000, електрофонарів, тепловізора це необхідно.

Рисунок 3.2 – Надбудова АЦ- 4-60 (5309) -505М

У якості пожежно-рятувального автомобіля середнього класу використовувалась (рис.3.3) автоцистерни АЦ-40(432921)63Б.02 та АЦ-40(131)137А. Вони призначені для доставки до місця пожежі або НС оперативного розрахунку, засобів пожежогасіння та обладнання, запасу вогнегасних речовин (вода, піноутворювач), а також для подачі вогнегасних речовин в осередок пожежі, як без установки, так і з установкою на вододжерело.

Рисунок 3.3 – Пожежно-рятувальні автомобілі середнього класу АЦ-40(131)137А та АЦ-40(432921)63Б.02.

Основні тактико-технічні характеристики цих оперативно-рятувальних автомобілів наведені в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Тактико-технічні характеристики автоцистерна автоцистерн середнього класу

Характеристика	Показник
Базове шасі	ЗИЛ-432921/4×2, ЗИЛ-433362/4×2, ЗИЛ-433371/4×2
Тип двигун	дизельний, карбюраторний
Потужність (макс), кВт (к.с.)	100(136), 110(150)
Швидкість (макс), з повним навантаженням, км / год	90
Число місць для бойового розрахунку, чол	1 +6
Запас води, м3 (л)	2,8 (2800)
Піноутворювача, не менше	0,17 (170)
Тип системи водозаповнених	насос вакуумний (шиберного типу) з електроприводом і ручним управлінням
Довжина напірних рукавів, м	348
Насос	НЦП-40/100-Р-Р
Подача насосу, л/хв (л/с)	40
Напір насоса, м	100
Найбільша геометрична висота всмоктування, м	7,5
Кількість ручних стволів	6
Габаритні розміри (довжина: ширина: висота), мм	7200:2500:3150
Маса автомобіля, кг	11000

Відсіки з оперативно-технічним обладнанням (ОТО) знаходяться ліворуч та праворуч від цистерни, насосний відсік, розміщення насосного устаткування у задній частині кузова. Кількість і номенклатура ОТО та інструменту відповідає табелю належності. ОТО та інструмент, що возять на автоцистерні, розміщуються в кабіні оперативного розрахунку; відсіках кузова і насосному відділенні, на даху оперативно-рятувального автомобіля і в підніжних ящиках.

Розміщення (рис.3.4) ОТО та інструменту задовольняє ряду вимог. По-перше, частина обладнання розміщена в кабіні оперативного розрахунку, це необхідно для того, щоб вже при слідуванні на пожежу чи НС оперативному розрахунку можна було готуватися до виконання оперативного розгортання. По-друге, розміщення ОТО в відсіках кузова підпорядковане необхідності мінімальних витрат часу на оперативне розгортання. У кабіні оперативного розрахунку знаходяться ручні пожежні стволи, а також рукавні затискачі, затримки.

Рисунок 3.4 – Надбудова АЦ-40(432921) 63Б.02 та АЦ-40(131)137А

У відсіках кузова укладено все основне ОТО: пожежні напірні рукава різних діаметрів, колонка пожежна, сітка усмоктувальна, повітрянопінні стволи, перехідні головки, рукавні затискачі тощо. Все обладнання в відсіках розміщено так, щоб номери оперативного розрахунку при

оперативному розгортанні не ускладнювали роботу один одного і виконували її в раціональної послідовності.

З розгляду схеми розміщення обладнання слід, що найбільш часто використовується обладнання розміщено в відсіках в найбільш доступних зонах. Так, пожежна колонка і усмоктувальна сітка знаходяться в нижній частині заднього відсіку, пожежні стволи в кабіні оперативного розрахунку. Все пожежне обладнання закріплюватися на призначених місцях. Для запобігання від пошкоджень апарати на стислому повітрі розміщують у спеціальних секціях у відсіку. Напірні і усмоктувальні пожежні рукави розміщуються в пеналах, встановлених на даху ПРА. Ручні пожежні драбини, пожежний лафетний ствол, генератор ГПС-600, гідроелеватор Г-600, багор і розміщено на даху. За допомогою спеціальних пристроїв забезпечується надійне їх кріплення і швидке знімання.

У якості пожежно-рятувальних автоцистерн легкого класу використовувались ПРА АЦ 2,0/40(3310), АЦ-2/40(HD65), АППД-2(3310)-274 (рис.3.5), які призначені для:

– доставки до місця виклику оперативного розрахунку, пожежно-технічного обладнання та оснащення, та запасу вогнегасник речовин, засобів надання першої медичної допомоги;

– проведення аварійно-рятувальних робіт, ліквідація наслідків ДТП або НС;

– подача води із цистерни, відкритого водоймища, сторонньої ємності або пожежного гідранту через ручні пожежні стволи;

– подачі повітряно-механічної піни з забором піноутворювача із штатного пінобаку, цистерни або сторонньої ємності через піногенератори.

Автоцистерна легкого класу може використовуватись як самостійна оперативна одиниця гасіння пожежі на ранніх стадіях її розвитку, паралельного проведення розвідки з метою прийняття рішення про

залучення додаткових сил та засобів, проведення аварійно-рятувальних робіт.

Рисунок 3.5 – Пожежно-рятувальні автомобілі легкого класу АЦ 2,0/40(3310), АППД-2(3310)-274

Автоцистерни легкого класу (основні тактико-технічні характеристики АЦ 2,0/40(3310) наведені в табл.3.3), зазвичай відрізняються від ПРА важкого та середнього класу меншим резервуара для води та потужними насосними установками, що дозволяють зменшати час повторного наповнення води в цистерну до 9 хвилин.

Таблиця 3.3 Тактико-технічні характеристики пожежно-рятувального автомобіля легкого класу АЦ 2,0/40(3310).

Характеристика	Показник
Базове шасі	ГАЗ 3310, 4х2
Тип двигун	дизельний
Максимальна швидкість	95 км/г
Оперативний розрахунок	1 - 5 осіб
Ємність цистерни, не менше $м^3$	2
Ємність пінобаку, $м^3$	0,12
Насос	НЦПН-40/100

Продовження табл. 3.3

Подача насоса л/с	40
Повна маса, кг	7350
Питома потужність, кВт/т	12,1
Габаритні розміри, мм	5230:2210:2890

Ці багатофункціональні ПРА легкого класу вивозять (рис.3.6) до місця виникнення надзвичайної ситуації широкий перелік пожежно-технічного та аварійно-рятувального обладнання, механізований пневматичний, гідравлічний інструмент, переносні мотопомпи, засоби освітлення, медичні засоби та різноманітне допоміжне устаткування.

Рисунок 3.6 – Надбудова - АЦ 2,0/40(3310), АППД-2(3310)-270

На даху ПРА легкого класу розміщені ручні пожежні драбини, пенали з всмоктувальні та напірно-всмоктувальними рукава, для легкого доступу до розміщеного на даху ПТО в задній частині встановлена драбина.

3.1.2. Оснащення рятувальників. У якості технічного оснащення рятувальників під час проведення експериментальних досліджень використовувався комплект, що складається з пожежного обладнання:

ручного пожежного інструменту (багра, гака, сокири, лома, механізованого та немеханізованого ручного пожежного інструменту), пожежних рятувальних пристроїв, гідравлічне та пневмонічне аварійно-рятувальне обладнання, бензомоторний інструмент, засобів індивідуального захисту рятувальників (респіратора, пожежної каски, пожежного пояса і поясного карабіна, захисного та тепловідбивного одягу пожежного, костюмів хімічного захисту), пожежні стволи - ручні і переносні лафетні, генератори піни, пожежні рукави різних видів, технічних пристроїв для конкретних пожежних машин відповідно до їх призначення.

Відповідно до [150] пожежне, аварійне-рятувальне обладнання та оснащення, прилади, устаткування, пристрої, засоби індивідуального захисту, що перебувають на озброєнні пожежно-рятувального автомобіля та використовуються при виконанні оперативного розгортання, мають забезпечувати безпечну роботу, збереження здоров'я особового складу оперативного розрахунку та відповідати вимогам спеціалізованих державних стандартів та технічних умов. Експлуатація їх у несправному стані забороняється. Технічний стан та придатність до використання визначаються під час проведення технічних обслуговувань, випробувань, або їх прийому особовим складом караулу, що заступає на чергування.

Види, періодичність та переліки основних операцій, технічного обслуговування і випробування встановлені в технічних умовах та в інструкціях заводів-виробників на даний тип обладнання та спорядження. Технічне обслуговування пожежного, аварійно-рятувального обладнання проводиться з метою забезпечення його постійної технічної готовності, безпечної експлуатації, попередження виникнення несправностей, їх виявлення та своєчасного усунення. Випробування пожежного, аварійно-рятувального обладнання та спорядження проводиться перед постановкою на оперативне чергування та періодично в процесі експлуатації метрологічна повіреними засобами вимірювання. Результати випробувань

реєструються в спеціальному журналі. Усе аварійне-рятувальне обладнання та оснащення, апарати, прилади та спорядження з часу їх надходження до пожежно-рятувального підрозділу підлягають обліку, вони повинні маркуватися з вказівкою інвентарного номера, який у процесі експлуатації протягом усього періоду перебування в пожежно-рятувальному підрозділі не змінюється.

Пожежне, аварійно-рятувальне обладнання, прилади та апарати розташовуються на пожежно-рятувальних автомобілях таким чином, щоб вони надійно закріплювались, легко знімались при виконанні оперативного розгортання та виключали можливість нанесення травми при їх зніманні та складанні. Стан та придатність до використання захисного одягу та спорядження визначаються зовнішнім оглядом, який проводиться рятувальниками, командирами відділень та начальниками караулів при заступанні на чергування.

3.1.3. Тренувальні майданчики. У кожному оперативно-рятувальному підрозділі створені умови для відпрацювання практичних вправ з оперативного розгортання особовим складом у вигляді навчально-тренувальних майданчиків. Основними завданнями останніх є:

– відпрацьовування та удосконалювання навичок роботи з оперативно-технічним обладнанням, злагодженості дій оперативного розрахунку у складі відділення;

– підготовка до роботи в умовах наближених до реальних надзвичайних ситуацій;

– формування фізичних, психологічних якостей рятувальника, необхідних для роботи в небезпечних для життя екстремальних умовах, підвищення стійкості організму до несприятливих впливів умов зовнішнього середовища.

До складу навчально-тренувальних майданчиків входить місце для проведення оперативних розгортань, спортивний майданчик, навчальна башта, навчальний клас. Ці складові є необхідною та невід'ємною частиною практичної підготовки рятувальників. Так в навчальних класах проводяться теоретичні заняття із пожежно-рятувальної та тактичної підготовки, а на місцях для проведення оперативних розгортань, спортивних майданчиках та навчальних баштах рятувальники відпрацьовують професійні навички роботи з ОТО, які можуть пришвидшити їх дії під час виконання оперативних розгортань.

Вправи з оперативного розгортання спочатку відпрацьовують без подачі води (піни та інших вогнегасних засобів), потім з їхньою подачею. Надалі для більш ефективного відпрацювання вправ рятувальниками ускладнюють обстановку проведення оперативного розгортання, змінюючи умови подачі пожежних стволів і способи прокладки рукавних ліній та їхньої кількості, обираючи для цього більш складні об'єкти та умови виконання вправ. Склад навчально-тренувальних майданчиків забезпечує безпечне виконання вправ як літньої, так і зимньої пори року.

3.1.4. Заходи з охорони праці. Перед тим, як дати команду на оперативне розгортання керівник проведення експериментального дослідження зобов'язаний вказати безпечні місця установки оперативно-рятувальних автомобілів, враховуючи те, що вони встановлюють на безпечній відстані від будівель, споруд та інших об'єктів, які можуть зруйнуватись (не менше висоти цих об'єктів), як правило, з навітряного боку.

При проведенні оперативного розгортання [149] керівник обирає та вказує особовому складу оперативного розрахунку найбільш безпечні та короткі шляхи прокладання рукавних ліній, перенесення оперативно-технічного обладнання та оснащення, тощо. Якщо на шляху є перешкоди, то вживаються заходи щодо їх усунення (розкривання, розбирання

конструкцій тощо) або забезпечується вихід на позиції іншими шляхами за допомогою ручних пожежних драбин, пожежних автопідіймачів, автодрабин тощо.

Під час оперативного розгортання оперативно-рятувальні автомобілі та оперативно-технічне обладнання мають бути розміщені таким чином, щоб: не заважати розставленню сил і засобів, які прибувають; забезпечити швидке зосередження сил і засобів на необхідних оперативних дільницях або їх евакуацію у разі небезпеки; забезпечити збереження рукавних ліній, запобігти перетинанню рукавних ліній іншими автомобілями, за можливості не ускладнювати дорожнього руху поблизу місця пожежі та ліквідації наслідків НС; забезпечити місце розташування резервної оперативно-рятувальної техніки, бажано поблизу джерел протипожежного водопостачання, з метою забезпечення безперервної подачі вогнегасних речовин до місця пожежі, а за необхідності – для прямування цієї техніки без перешкод на іншу НС.

Встановлюються єдині сигнали для сповіщення про небезпеку та повідомити про них усьому особовому складу оперативно-рятувальних підрозділів, які проводять оперативні дії. Під час проведення оперативного розгортання у разі явної загрози негайно подається відповідний сигнал та виводиться особовий склад оперативного розрахунку у безпечне місце. Під час оперативного розгортання забороняється: розпочинати його проведення до повної зупинки оперативно-рятувального автомобіля; одягати на себе лямку приєднаного до рукавної лінії пожежного ствола під час розгортання; переносити інструмент який повернений робочими поверхнями (ріжучими, колючими тощо) за напрямком руху; подавати воду по незакріпленим пожежним рукавам до виходу ствольників на вихідні позиції.

Під час подавання води в рукавні лінії підвищувати тиск треба поступово, щоб уникнути падіння ствольника і розриву пожежних рукавів.

Подача води від оперативно-рятувального автомобіля дозволяється тільки за наказом безпосередніх начальників.

Особовий склад оперативного розрахунку, при проведенні оперативного розгортання, зобов'язаний постійно слідкувати за оперативною обстановкою, за появою перших ознак небезпеки негайно застерігати осіб, які працюють у небезпечній зоні та доповісти про них керівнику проведення експериментальних досліджень.

Під час оперативного розгортання відділень на спеціальних оперативно-рятувальних автомобілях необхідно дотримуватись додаткових вимог охорони праці, що визначаються особливостями техніки та викладені в інструкціях заводів-виробників.

Таким чином, існуюча експериментально-випробувальна база дозволяє перевірити достовірність математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та методики, створеної на її основі.

3.2. Оцінка достовірності математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації (варіант 1 – «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни»)

3.2.1. Характеристика обраного варіанту оперативного розгортання. Дії особового складу пожежно-рятувального підрозділу з оперативного розгортання проводяться відповідно до табелю оперативного розрахунку [150] особового складу відділення на автоцистерні у складі 6 осіб. При цьому двигун ПРА працює на малих обертах. Пожежно-технічне обладнання закріплене і знаходиться у відсіках ПРА, які закриті.

Пожежний-рятувальник у захисному одязі та споряджені та водій знаходяться напроти осі задніх коліс.

Порядок виконання вправи за командою «Ствол "ГПС-600" від автоцистерни через робочу лінію на три рукава діаметром 51 мм подати»:

– водій відкриває дверцята відсіку кузова ПРА дістає перехідну головку 50х80, один пожежний рукав діаметром 51 мм прокладає його в указаному напрямку, з’єднує перехідну головку зі з’єднувальною, від'єднує від викидного патрубка пожежного насоса заглушку та приєднує перший пожежний рукав до нього, далі працює на пожежному насосі;

– пожежний-рятувальник знімає з кріплення ствол ГПС-600, дістає перехідну головку 50х70 приєднує до ствола, виймає з відсіку ПРА два пожежних рукава діаметром 51 мм прокладає їх та з'єднують між собою, приєднує до першого пожежного рукава, приєднує рукавну лінію до ГПС-600 та прокладає лінію з трьох пожежних рукавів в указаному напрямку;

– закінчення вправи: двигун переключений на насос, рукавна лінія прокладена. Пожежний-рятувальник зі стволом знаходиться на позиції, водій біля насоса.

Для проведення обраного варіанту оперативного розгортання використовується наступне оперативно-рятувальне обладнання:

– пожежно-рятувальний автомобіль відповідного класу, який призначений для доставки до місця виклику оперативного розрахунку, засобів пожежогасіння, пожежно-технічного та рятувального обладнання, гасіння пожеж водою та повітряно-механічною піною, виконання аварійно-рятувальних робіт;

– захисний одяг пожежного-рятувальника – спеціальний одяг, призначений для захисту тіла пожежного-рятувальника від впливу небезпечних факторів пожежі та вогнегасних речовин під час гасіння пожеж та проведення пожежно-рятувальних робіт;

– спорядження пожежного-рятувальника складається з каски, пожежного пояса з карабіном та сокири. Каска пожежного-рятувальника призначена для захисту його голови від ударів, впливу небезпечних факторів пожежі та вогнегасних речовин. Пояс пожежного-рятувальника призначений для закріплення і страхування пожежного-рятувальника під час його роботи на висоті, а також для проведення пожежно-рятувальних робіт та саморятування. Сокира пожежного-рятувальника є його індивідуальним інструментом і призначена для розбирання елементів конструкцій під час гасіння пожежі;

– пожежні рукава є складовою частиною пожежно-технічного оснащення та поділяються на всмоктувальні, напірно-всмоктувальні та напірні, які призначені для транспортування водних вогнегасних речовин як під розрідженням, так і надлишковим тиском;

– генератор піни середньої кратності ГПС-600 Генератор піни – пожежний ствол, призначений для утворення повітряномеханічної піни, формування та спрямування її струменя. Генератор піни є водоструменевим ежекторним апаратом переносного типу;

– рукавна з’єднувальна головка – призначена для з’єднування всмоктувальних та напірно-всмоктувальних рукавів між собою та з іншим пожежним обладнанням;

– перехідна рукавна з’єднувальна головка - призначена для з'єднання двох пожежних з'єднувальних головок різних умовних проходів або різних типів.

3.2.2. Статистична оцінка експериментальних результатів та перевірка значимості вибраних факторів. На першому етапі розглядалось виконання оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» (ОР 1) на пожежно-рятувальних автомобілях трьох різних класів. В

експериментальних дослідженнях брали участь випробовувані з числа курсантів Національного університету цивільного захисту України та пожежно-рятувальних підрозділів ГУ ДСНС України в Харківській області в **літніх умовах**.

Отримані результати (табл.3.4), оскільки у кожному випадку використовувалися вибірки з об'ємом $n = 20 < 30$, були перевірені на нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Уілкі [151].

Таблиця 3.4 – Експериментальні результати (час, с) оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від пожежно-рятувальних автомобілів різного класу літом

Спроба	АППД-2		АЦ-40(131)		МАЗ АЦ-4-60	
	курсанти	пожежні	курсанти	пожежні	курсанти	пожежні
1	2	3	4	5	6	7
1	35,4	31,6	52,0	48,1	48,7	43,0
2	35,6	33,6	51,2	49,5	46,3	38,9
3	35,0	32,3	51,8	48,1	46,3	38,1
4	39,3	31,0	52,9	47,3	44,9	40,1
5	34,7	31,0	50,7	46,3	47,8	42,9
6	34,2	31,6	54,5	49,2	48,2	41,0
7	37,8	33,6	53,3	51,4	45,4	41,5
8	35,8	31,1	53,2	48,2	47,8	39,6
9	36,0	31,5	55,8	48,0	45,1	38,4
10	37,3	32,8	51,9	48,3	48,1	37,5
11	33,4	33,0	50,3	49,6	45,4	39,2
12	32,7	32,7	51,8	47,2	47,4	38,4
13	36,3	33,8	51,2	46,9	47,0	37,6
14	34,4	31,9	53,2	48,0	45,8	39,0

Продовження табл. 3.4

1	2	3	4	5	6	7
15	34,6	31,9	52,3	46,9	46,7	42,5
16	35,1	34,6	53,2	47,1	47,0	38,1
17	35,0	30,0	53,6	48,7	48,0	38,7
18	35,1	31,3	52,7	47,9	45,8	42,8
19	32,8	32,1	52,6	48,9	46,3	40,6
20	34,3	33,0	52,9	49,7	45,7	36,6
t_{min}, с	32,7	30	44,9	36,6	50,3	46,3
t_{max}, с	39,3	34,6	48,7	43	55,8	51,4
$\bar{t}$, с	35,24	32,22	46,69	39,73	52,56	48,27
σ, с	1,60	1,15	1,15	1,98	1,29	1,21
Skos	0,77	0,24	0,14	0,45	0,54	0,74

Для цього, наприклад, стосовно до ОР1 від АППД-2 «Валдай» курсантами (результати (див. табл. 3.5) наводяться саме для цього варіанту, оскільки отримана вибірка експериментальних результатів характеризувалась найбільшим показником скошеності $Sk_{ОР1}(АЦ_{легк}) \approx 0{,}77$) спочатку були розраховані середнє значення часу оперативного розгортання

$$\bar{t}_{ОР1}(АЦ_{легк}) = \frac{\sum_{i}^{n} t_{ОР1_i}(АЦ_{легк})}{n}, \qquad (3.1)$$

де $t_{ОР1_i}(АЦ_{легк})$ – час оперативного розгортання АППД-2 «Валдай» і-им бойовим розрахунком, який складався із курсантів 3-го курсу, с;

середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_{ОР1(АЦ_{легк})} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(t_{ОР1i(АЦ_{легк})} - \bar{t}_{ОР1(АЦ_{легк})} \right)^2}, \qquad (3.2)$$

та

$$n \cdot m_2 = \sum_{i=1}^{n} \left(t_{ОР1i(АЦ_{легк})} - \bar{t}_{ОР1(АЦ_{легк})} \right)^2, \qquad (3.3)$$

де m_2 – вибірковий центральний момент другого порядку.

Таблиця 3.5 – Результати подачі ствола ГПС-600 курсантами через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни АППД-2 «Валдай»

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_i, с	35,4	35,6	35	39,3	34,7	34,2	37,8	35,8	36	37,3
$(t_i - \bar{t}_i)^2$	0,026	0,130	0,058	16,48	0,292	1,082	6,554	0,314	0,578	4,244
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t_i, с	33,4	32,7	36,3	34,4	34,6	35,1	35	35,1	32,8	34,3
$(t_i - \bar{t}_i)^2$	3,386	6,452	1,124	0,706	0,410	0,020	0,058	0,020	5,954	0,884
$\bar{t}$, с	35,24									
σ, с	1,60									
$n \cdot m_2$	48,77									

Оскільки оцінки t_i є результатом обробки незалежних спостережень, вони були розташовані в порядку неспадання і позначені символами $t_1, t_2, ..., t_{n=20}$. В табл. 3.6 приведена впорядкована серія отриманих

значень часу оперативного розгортання. Це дозволило обчислити проміжну суму S по формулі:

$$S = \sum_{i}^{k} a_{n-i+1} \cdot (t_{(n-i+1)} - t_i) = 6{,}69, \qquad (3.4)$$

де k – індекс, який має значення від 1 до $n/2 = 12$; a_{n-i+1} – коефіцієнт, який має спеціальні значення для обсягу вибірки n (його значення, що наведені в табл. 3.5, взяті з табл.10 [152]).

Таблиця 3.6 – Упорядкована серія отриманих значень часу оперативного розгортання

k	$t_{(20-k+1)}$, с	t_k, с	$t_{(20-k+1)} - t_k$, с	a_{n-k+1}	$a_{n-k+1} \cdot (t_{(20-k+1)} - t_k)$
1	2	3	4	5	6
1	39,3	32,7	6,60	0,4493	2,96538
2	37,8	32,8	5,00	0,3098	1,549
3	37,3	33,4	3,90	0,2554	0,99606
4	36,3	34,2	2,10	0,2145	0,45045
5	36	34,3	1,70	0,1807	0,30719
6	35,8	34,4	1,40	0,1512	0,21168
7	35,6	34,6	1,00	0,1245	0,1245
8	35,4	34,7	0,70	0,0997	0,06979
9	35,1	35	0,10	0,0764	0,00764
10	35,1	35	0,10	0,0539	0,00539
S					6,687
S^2					44,717

Таблиця 11 [160] для рівня значимості α=0,05 та n=20 дає значення $W_{табл} = 0{,}905$.

Оскільки

$$W = \frac{S^2}{n \cdot m^2} = \frac{44{,}717}{48{,}77} = 0{,}916 \geq W_{табл} = 0{,}905, \qquad (3.5)$$

розподіл у відповідності до [152] вважається нормальним.

Розрахунки, аналогічні (3.1)-(3.5), були виконані також для аналізу часу оперативних розгортань за обраним варіантом. Вони показали, що з рівнем значимості α=0,05 їх можна вважати нормальними, а отримані оцінки математичних очікувань та середньоквадратичних очікувань використовувати під час створення багатофакторної поліноміальної моделі оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни».

В узагальненому вигляді для подачі ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни отримані результати наведені на рис.3.10.

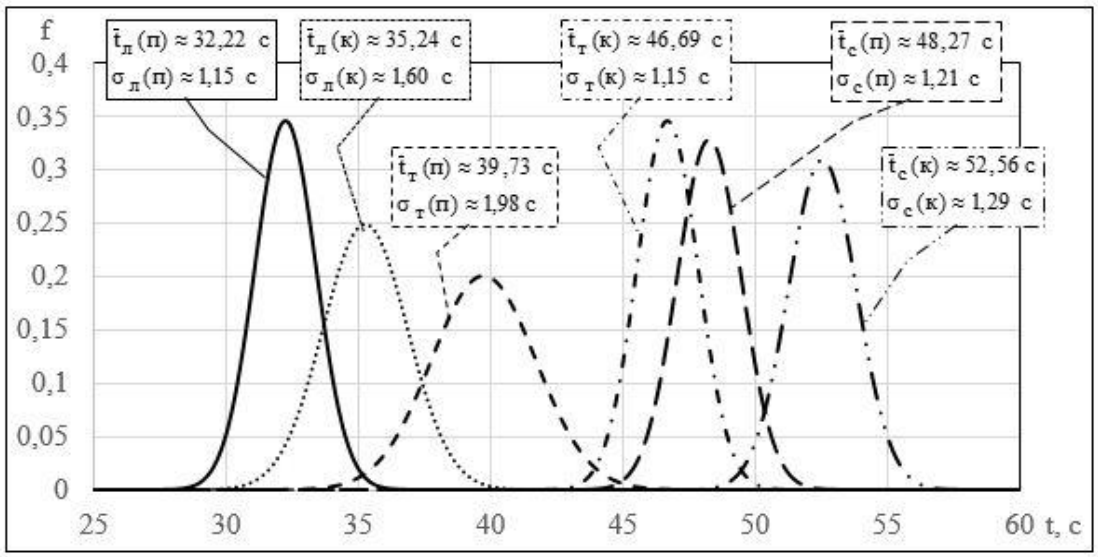

Рисунок 3.10 – Розподіли часу подачі ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від оперативно-рятувального автомобіля

(п – оперативне розгортання здійснювали рятувальники штатних оперативно-рятувальних підрозділів ДСНС України; к – курсанти)

Наявність оцінок математичних очікувань і середньоквадратичних відхилень часу оперативного розгортання дозволило виконати перевірку того, наскільки значимо різняться середні значення, отримані по незалежних вибірках дослідження, використовуючи t-критерій Стьюдента [153]. В цьому випадку, наприклад для ситуацій, коли порівнюється час ОР1 від АППД-2 «Валдай» курсантами та пожежними (різниця між середніми для цього варіанту оперативного розгортання була найменшою), розглядалась гіпотеза

$$H_0 : \bar{t}_л(п) = \bar{t}_л(к) \tag{3.6}$$

та її альтернатива

$$H_1 : \bar{t}_л(п) \neq \bar{t}_л(к), \tag{3.7}$$

яка доводить відмінність середніх значень.

З метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію [154] спочатку була перевірена гіпотеза про рівність дисперсій. У якості критерія для перевірки нуль-гіпотези

$$H_0 : \sigma_л(п) = \sigma_л(к) \tag{3.8}$$

був обраний F-критерій

$$F = \sigma_1^2 \Big/ \sigma_2^2 = \frac{1{,}60}{1{,}15} = 1{,}39, \tag{3.9}$$

де σ_1^2 – більша з оцінок дисперсій в двох вибірках.

При цьому критичне значення $F_{кр}$, яке при рівні значимості $\alpha = 0{,}05$

та числі ступенів свободи

$$\upsilon_{Л}(п) = n_{Л}(п) - 1 = 19,\ \upsilon_{Л}(к) = n_{Л}(к) - 1 = 19, \tag{3.10}$$

где $n_{Л}(п) = n_{Л}(к) = 20$ – кількість бойових розрахунків, які виконували оперативне розгортання ОР1, дорівнює [154]

$$F_{кр} = F_{табл} = 2{,}15. \tag{3.11}$$

Видно, що в розглянутих випадках правомірною визнається нуль-гіпотеза (3.6) та допускається рівність дисперсій при виконанні оперативного розгортання як курсантами, так пожежними штатних пожежно-рятувальних підрозділів.

Виходячи з цього, стандартна помилка різниці $S_{Л}(ОР1)$, з урахуванням того, що вибірки малого розміру (<30), та число ступенів свободи υ при обчисленні t-критерію розраховуються [154] наступним чином

$$S_{Л(п-к)}(ОР1) =$$

$$= \sqrt{\frac{(n_{Л}(п)-1)\cdot\sigma^2_{Л}(п) + (n_{Л}(к)-1)\cdot\sigma^2_{Л}(к)}{n_{Л}(п)+n_{Л}(к)-2}\cdot\left(\frac{1}{n_{Л}(п)}+\frac{1}{n_{Л}(к)}\right)} = \tag{3.12}$$

$$= \sqrt{\frac{(20-1)\cdot 1{,}15 + (20-1)\cdot 1{,}60}{20+20-2}\cdot\left(\frac{1}{20}+\frac{1}{20}\right)} = 0{,}371;$$

$$n_{Л}(п) + n_{Л}(к) - 2 = 38. \tag{3.13}$$

В результаті

$$t_{набл} = \frac{|\bar{t}_{л}(п) - \bar{t}_{л}(к)|}{S_{л(п-к)}(ОР1)} = \frac{|32,22 - 35,24|}{0,371} = 8,14. \quad (3.14)$$

Оскільки

$$t_{набл} = 8,14 > t_{табл}(\alpha = 0,05) = 2,04, \quad (3.15)$$

можна говорити, що при рівні значимості α=0,05 результати, отриманні рятувальниками початкового та фахового рівня підготовленості під час подачі ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни АППД-2 «Валдай» відрізняються суттєво.

Розрахунки у відповідності до (3.6)-(3.15) були виконані також для порівняння того, наскільки значимими є відмінності в часі оперативного розгортання рятувальниками, які мають первинний (курсанти) та фаховий рівень підготовки (табл. 3.7), а також наскільки відрізняється час оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів легкого та середнього класів (табл. 3.8) і важкого та середнього класів (табл. 3.9).

Таблиця 3.7 – Порівняння показників виконання оперативного розгортання ОР1 курсантами та рятувальниками штатних оперативно-рятувальних підрозділів літом

Клас оперативно-рятувального автомобіля	F	$F_{кр}$	S	υ	$t_{набл}$	$t_{табл}(\alpha = 0,05)$
Легкий	1,67	2,3	2,31	46	8,14	2,04
Середній	0,46	2,3	2,31	46	8,96	2,04
Важкий	1,02	2,3	2,31	46	6,57	2,04

Аналіз результатів, які наведені в табл.3.7-табл.3.8, показує, що з рівнем значимості α=0,05 можна стверджувати – літньої пори на час

оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» суттєво впливають відмінності, які пов'язані як з рівнем підготовленості особового складу, так і з пожежно-рятувального автомобіля, який буде задіяним для ліквідації (локалізації) НС техногенного характеру, яка вимагає такого роду АРР,

Таблиця 3.8 – Порівняння показників виконання оперативного розгортання ОР1 на пожежно-рятувальних автомобілях легкого та середнього класів

Рівень підготовленості рятувальників	F	$F_{кр}$	S	υ	$t_{набл}$	$t_{табл}$ ($\alpha = 0{,}05$)
Первинний	1,91	2,3	2,31	46	7,25	2,04
Фаховий	0,87	2,3	2,31	46	4,15	2,04

Таблиця 3.9 – Порівняння показників виконання оперативного розгортання ОР1 на пожежно-рятувальних автомобілях середнього та важкого класів

Рівень підготовленості рятувальників	F	$F_{кр}$	S	υ	$t_{набл}$	$t_{табл}$ ($\alpha = 0{,}05$)
Первинний	2,05	2,3	2,31	46	5,82	2,04
Фаховий	1,74	2,3	2,31	46	8,34	2,04

Експериментальні дослідження, які виконувались в **зимовий час**, (табл.3.10) здійснювалась аналогічно літньому. Результати статистичної оцінки часу подачі ствола ГПС-600 курсантами через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни АППД-2 «Валдай» зимою, які відповідають тим, що були отримані літом (табл.3.5), наведені в табл.3.11, а відповідна упорядкована серія – в табл.3.12.

Таблиця 3.10 – Експериментальні результати (час, с) оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від пожежно-рятувальних автомобілів різного класу зимою

Спроба	АППД-2		АЦ-40(131)		МАЗ АЦ-4-60	
	курсанти	пожежні	курсанти	пожежні	курсанти	пожежні
1	2	3	4	5	6	7
1	54,5	51,8	70,3	65,6	73,1	74,3
2	55,0	48,4	67,9	66,1	74,8	65,6
3	56,9	48,6	70,3	72,7	72,5	70,4
4	54,3	53,6	68,4	69,5	75,5	68,6
5	57,0	46,8	69,3	70,9	73,1	72,1
6	58,2	49,7	73,0	66,8	76,3	70,3
7	57,0	51,7	67,9	70,1	70,4	71,1
8	57,0	50,9	73,6	68,8	74	67,9
9	61,5	52,7	67,9	66,1	78,7	68,2
10	59,4	55,4	71,9	63,6	73,4	70,8
11	55,9	49,9	74,0	71	72,2	72,3
12	59,1	49,5	69,2	64,8	77,7	70,5
13	56,4	47,5	67,7	64,2	76,8	68,5
14	59,1	44,6	70,5	67,3	73,2	67,5
15	56,3	48,3	69,7	70,3	76,1	69,6
16	56,3	49,4	70,3	67,5	73,4	71,7
17	59,5	45,9	73,4	66,7	74,3	69,6
18	56,0	46,5	70,7	68,3	75,6	70,5
19	59,4	49,5	70,3	63,9	74,5	75,5
20	55,7	48,4	71,1	62,9	74,5	71,3
t_{min}, с	54,30	44,60	67,70	62,90	70,40	65,60

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4	5	6	7
t_{max}, с	61,50	55,40	74,00	72,70	78,70	75,50
$\bar{t}$, с	57,23	49,46	70,37	67,36	74,51	70,32
σ, с	1,92	2,68	1,99	2,79	2,00	2,31
Skos	0,48	0,39	0,42	0,18	0,23	0,27

Таблиця 3.11 – Статистична оцінка результатів часу подачі ствола ГПС-600 курсантами через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни АППД-2 «Валдай»

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_i, с	35,4	35,6	35	39,3	34,7	34,2	37,8	35,8	36	37,3
$(t_i - \bar{t}_i)^2$	0,026	0,130	0,058	16,484	0,292	1,082	6,554	0,314	0,578	4,244
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
t_i, с	33,4	32,7	36,3	34,4	34,6	35,1	35	35,1	32,8	34,3
$(t_i - \bar{t}_i)^2$	3,386	6,452	1,124	0,706	0,410	0,020	0,058	0,020	5,954	0,884
$\bar{t}$, с	39,74									
σ, с	1,96									
$n \cdot m_2$	48,77									

В узагальненому вигляді отримані результати наведені в табл.3.13. Аналіз результатів, які наведені в табл.3.13 показує (рис.3.7), що з рівнем значимості α=0,05 їх можна вважати нормальними та використовувати отримані оцінки математичних очікувань та середньоквадратичних очікувань часу оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через

робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» зимою під час створення відповідної багатофакторної поліноміальної моделі.

Для порівняння того, наскільки значимо відрізняється час оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» в залежності від пори року, були виконані розрахунки у відповідності до (3.6)-(3.15), в яких використовувались результати, що наведені в табл.3.4 (для літньої пори) та табл.3.10 (для зимньої пори). В узагальненому вигляді отримані результати наведені в табл.3.14 та табл.3.15.

Таблиця 3.12 – Упорядкована серія отриманих значень часу оперативного розгортання

k	$t_{(20-k+1)}$, с	t_k, с	$t_{(20-k+1)} - t_k$, с	a_{n-k+1}	$a_{n-k+1} \cdot (t_{(20-k+1)} - t_k)$
1	39,3	32,7	6,60	0,4493	2,96538
2	37,8	32,8	5,00	0,3098	1,549
3	37,3	33,4	3,90	0,2554	0,99606
4	36,3	34,2	2,10	0,2145	0,45045
5	36	34,3	1,70	0,1807	0,30719
6	35,8	34,4	1,40	0,1512	0,21168
7	35,6	34,6	1,00	0,1245	0,1245
8	35,4	34,7	0,70	0,0997	0,06979
9	35,1	35	0,10	0,0764	0,00764
10	35,1	35	0,10	0,0539	0,00539
S					6,687
S^2					44,717

Таблиця 3.13 – Узагальнені оцінки оцінювання функції розподілу часу оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від оперативно-рятувальних автомобілів різного класу зимою

	Клас ОРА	Рівень підгото-вленості	$\bar{t}$, с	σ, с	$n \cdot m_2$	S^2	$W_{табл}$	W
1	легкий	Початковий	57,23	1,92	48,77	44,72	0,905	0,917
2	середній		49,46	2,68	47,98	42,95		0,967
3	важкий		70,37	1,99	43,69	43,47		1,117
4	легкий	Фаховий	67,36	2,79	42,86	43,56		1,005
5	середній		74,51	2,00	48,17	43,24		0,984
6	важкий		70,32	2,31	42,84	43,94		1,114

Таблиця 3.14 – Узагальнені оцінки оцінювання функції розподілу часу оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від оперативно-рятувальних автомобілів різного класу зимою

	Клас ОРА	Рівень підгото-вленості	$\bar{t}$, с	σ, с	$n \cdot m_2$	S^2	$W_{табл}$	W
1	легкий	Початковий	57,23	1,92	48,77	44,72	0,905	0,917
2	середній		49,46	2,68	47,98	42,95		0,967
3	важкий		70,37	1,99	43,69	43,47		1,117
4	легкий	Фаховий	67,36	2,79	42,86	43,56		1,005
5	середній		74,51	2,00	48,17	43,24		0,984
6	важкий		70,32	2,31	42,84	43,94		1,114

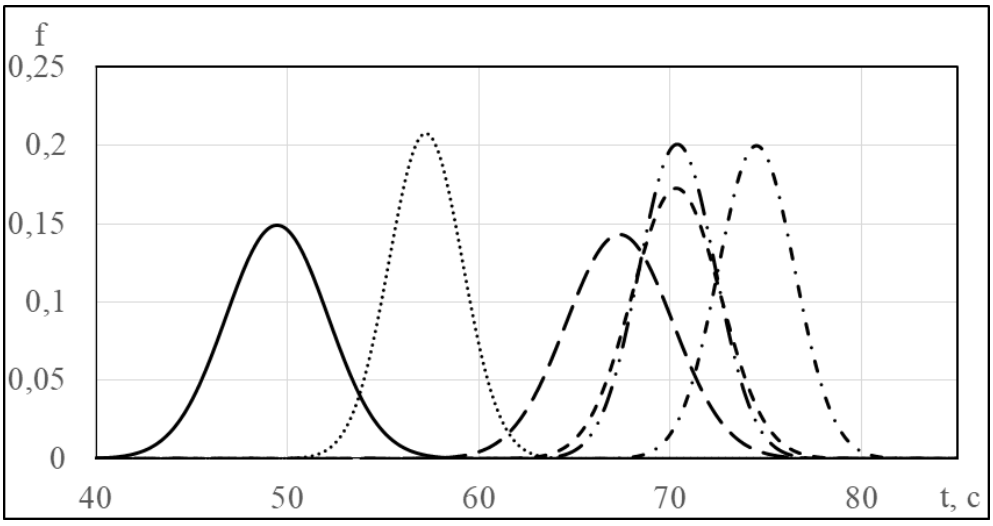

Рисунок 3.7 – Розподіли часу подачі ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від оперативно-рятувального автомобіля зимою

(——легкий клас, фаховий рівень; --------легкий клас, початковий рівень; - - - - - середній клас, фаховий рівень; -·- середній клас, початковий рівень; —··— важкий клас, фаховий рівень; —·—·важкий клас, початковий рівень)

Таблиця 3.15 – Порівняння показників виконання зимньої пори оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» на пожежно-рятувальних автомобілях середнього класу з показниками виконання оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів легкого та середнього класу

Клас ПРА	Рівень підготовленості рятувальників	F	$F_{кр}$	S	υ	$t_{набл}$	$t_{табл}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Легкий	Первинний	1,52	2,3	0,57	46	7,93	2,04
	Фаховий	1,20	2,3	0,38	46	8,39	2,04

Продовження табл. 3.15

1	2	3	4	5	6	7	8
Важкий	Первинний	1,28	2,3	0,43	46	10,69	2,04
	Фаховий	1,22	2,3	0,4	46	2,11	2,04

Аналіз результатів, наведених в табл.3.14 та табл.3.15, показує, що в усіх випадках

$$t_{набл} > t_{табл}(\alpha = 0{,}05) = 2{,}04. \qquad (3.16)$$

що свідчить про суттєву різницю часу оперативного розгортання за різної пори року.

Тобто, математичне очікування часу оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» першим оперативно-рятувальним підрозділом суттєво з рівнем значимості α=0,05 відрізняється не тільки в залежності від класу оперативно-рятувального автомобіля (фактор x_1), але й від рівня підготовленості особового складу (фактор x_2) та від впливу несприятливих метеорологічних чинників (фактор x_3), які суттєво ускладнюють дії оперативного розгортання пожежно-рятувальної техніки. Визначено що в більшій мірі цей чинник впливає $\left(t_{набл\,min}(поч) = 10{,}69\right)$ на результати оперативної роботи рятувальників, які мають початковий рівень підготовленості, в меншій мірі – на результат фахових рятувальників ($t_{набл\,min}(фах) = 2{,}11$). Рівень значимості ($\alpha$=0,05) отриманих експериментальних результатів дозволяє їх використання під час побудови математичної моделі оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни».

3.2.3. Статистична оцінка першого варіанту математичної моделі («Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни»). З урахуванням вибору вихідних факторів для проведення імітаційного фізичного експерименту за планом 3х2х2 в результаті було отримано (див. табл. 3.16) дванадцять оцінок математичного очікування проведення оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» при різноманітних сполученнях рівнів, а також дванадцять відповідних середньоквадратичних відхилень. Крім цього, в табл. 3.16 в стовпчиках 7 та 8 наведені нормовані значення отриманих середніх та середньоквадратичних відхилень

$$\bar{y}'(\sigma_y) = \frac{\bar{t}(\sigma_t) - t_{min}}{t_{max} - t_{min}}. \qquad (3.17)$$

Таблиця 3.16 – Результати імітаційного фізичного моделювання оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» рятувальниками першого оперативно-рятувального підрозділу

№ з/п	x_1	x_2	x_3	$\bar{t}$, с	σ_t, с	$\bar{y}'$	σ'_y
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-1	-1	-1	74,51	2	1,000	0,047
2	-1	-1	1	52,56	1,29	0,481	0,031
3	-1	1	-1	70,32	2,31	0,901	0,055
4	-1	1	1	48,27	1,21	0,380	0,029
5	0	-1	-1	70,37	1,99	0,902	0,047

Продовження табл. 3.16

1	2	3	4	5	6	7	8
6	0	-1	1	46,69	1,15	0,342	0,027
7	0	1	-1	67,36	2,79	0,831	0,066
8	0	1	1	39,73	1,98	0,178	0,047
9	1	-1	-1	57,23	1,92	0,591	0,045
10	1	-1	1	35,24	1,6	0,071	0,038
11	1	1	-1	49,46	2,68	0,408	0,063
12	1	1	1	32,22	1,15	0,000	0,027

За отриманими результатами, використовуючи (2.11)-(2.14), були розраховані коефіцієнти трифакторної квадратичної моделі (2.10), які встановлюють кількісний зв'язок між часом оперативного розгортання (в нормованих перемінних) за варіантом, який розглядається, та обраними факторами

$$y_{OP1} = 0{,}551 - 0{,}210 \cdot x_1 - 0{,}075 \cdot x_1^2 - 0{,}007 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0{,}015 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ - 0{,}057 \cdot x_2 + 0{,}0014 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0{,}\cdot 265 x_3 . \qquad (3.18)$$

Наявність моделі (3.18) дозволяє отримати оцінку середнього часу оперативного розгортання ОР 1 в натуральних перемінних, здійснивши зворотній перехід від (3.17).

$$\bar{t}_{mm} = \bar{y}' \cdot (t_{max} - t_{min}) + t_{min}, \qquad (3.19)$$

Наявність результатів, отриманих як за допомогою розробленої моделі (3.18), так і натурним шляхом, дозволяє визначити достовірність оцінки розробленої математичної моделі. Для цього було перевірено укладання середнього часу оперативного розгортання ОР 1 за кожною

комбінацією розглянутих факторів в довірчі інтервали, які розраховані з надійністю 0,95 за результати імітаційного фізичного моделювання за тієї ж комбінації обраних факторів,

$$t = \bar{t} \pm 1.96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \qquad (3.20)$$

де n=20 – кількість натурних експериментів, за результатами здійснення яких визначались математичні очікування та середньоквадратичні відхилення у відповідності до обраної комбінації значимих факторів.

В узагальненому вигляді отримані результати наведені в табл. 3.17. Аналіз результатів, що наведені в табл. 3.17, показує, що за кожною комбінації розглянутих факторів результати оцінки часу оперативного розгортання за допомогою розробленої математичної моделі (3.18) входять в довірчий інтервал, визначений з надійністю 0,95.

Таблиця 3.17 – Результати перевірки достовірності математичної моделі оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» рятувальниками першого оперативно-рятувального підрозділу

№ з/п	x_1	x_2	x_3	t_{min}, с	$\bar{t}_{ММ}$, с	t_{max}, с
1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	73,63	75,37	75,39
2	-1	-1	1	51,99	51,81	53,13
3	-1	1	-1	69,31	71,13	71,33
4	-1	1	1	47,74	47,77	48,80
5	0	-1	-1	69,50	69,57	71,24
6	0	-1	1	46,19	47,02	47,19

Продовження табл. 3.17

1	2	3	4	5	6	7
7	0	1	-1	66,14	66,58	68,58
8	0	1	1	38,86	402,27	40,60
9	1	-1	-1	56,39	57,19	58,07
10	1	-1	1	34,54	35,84	35,94
11	1	1	-1	48,29	51,62	50,63
12	1	1	1	31,72	32,05	32,72

Таким чином, результати, які визначені за допомогою першого варіанту розробленої математичної моделі «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни», співпадають з результатами натурних експериментів та укладаються в довірчі інтервали, які розраховані з надійністю 0,95 за критерієм Стьюдента, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

3.3. Оцінка достовірності математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації (варіант 2 – «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант»)

3.3.1. Характеристика обраного варіанту оперативного розгортання. Вправу виконують 5 осіб. Оперативно-рятувальний автомобіль знаходиться біля гідранта, оперативно-технічне обладнання

закріплено на своїх місцях, відсіки зачинені. Двигун працює на малих обертах. Відділення у захисному одязі та споряджені шикується біля ОРА.

Порядок виконання вправи.

Початок: подано команду "Автоцистерну – на пожежний гідрант, один ствол "А" та один ствол "Б", магістральна лінія на два рукави, робочі лінії по два рукава від автоцистерни подати".

Водій від'єднує від всмоктуючого патрубка насоса заглушку, відкриває дверцята відсіку кузова ОРА дістає з відсіку водозбірник і приєднує його до всмоктуючого патрубка насоса, дістає з відсіку напірний чотирьохметровий рукав, розгортає його в напрямку гідранта і приєднує до водозбірника.

Пожежний-рятувальник №4 дістає з відсіку кузова ОРА пожежну колонку кладе її на ліве передпліччя переносить до пожежного гідранту та приєднує її нього за годинниковою стрілкою робить 5,5- 6 півобертів.

Водій за допомогою висувної стрічки виймає із пенала всмоктуючий рукав, приєднує ближню з'єднувальну головку до водозбірника.

Пожежний-рятувальник №4 приєднує до патрубка пожежної колонки напірний рукав, приймає від водія всмоктуючий рукав, широким хватом рук приєднує його до іншого патрубка колонки і проводить пуск води до насоса - обома руками за рукоятку пожежної колонки повільно обертає її проти годинникової стрілки до відказу (на 18 - 20 півобертів) та працює на розгалудженні.

Пожежний-рятувальник № 3 дістає з відсіку кузова ОРА дві скатки пожежних рукавів розгортає їх, з’єднує між собою з’єднувальні головки пожежних рукавів, прокладає магістральну рукавну лінію у визначеному напрямком , встановлює розгалуження і працює підствольником у пожежного рятувальника № 1.

Пожежні-рятувальники №1 і № 2 дістають з відсіку кузова ОРА по дві скатки пожежних рукавів та ручні пожежні стволи, прокладають робочі лінії від крайніх патрубків розгалуження в указаному напрямку з’єднують

між собою з'єднувальні головки пожежних рукавів, займають визначені позиції працюють з ручним пожежним стволом.

Закінчення вправи: оперативно-рятувальний автомобіль встановлений на пожежному гідранті, двигун переключений на насос, пожежний насос заповнений водою (тільки влітку), рукавні лінії прокладені і з'єднані з ручними пожежними стволами. Водій знаходиться біля насоса, ствольник на позиції, готові до роботи.

Оперативно-технічне обладнання та оснащення, яке використовується для проведення обраного варіанту оперативного розгортання:

- ПРА - призначений для доставки до місця виклику оперативного розрахунку, засобів пожежогасіння, ПТО, АРО, гасіння пожеж водою та повітряно-механічною піною, виконання аварійно-рятувальних робіт;

- захисний одяг пожежного-рятувальника – спеціальний одяг, призначений для захисту тіла пожежного-рятувальника від впливу небезпечних факторів пожежі та вогнегасних речовин під час гасіння пожеж та проведення пожежно-рятувальних робіт;

- спорядження пожежного-рятувальника складається з каски, пожежного пояса з карабіном та сокири;

- комбіновані пожежні стволи Protek 360/366/368 - призначені для формування та направлення компактного або розпиленого струменя води або розчину піноутворювача, а також для регулювання струменя вогнегасної речовини, від компактної до захисної завіси, що здійснюється поворотом насадка;

- рукавне розгалуження – пристрій, призначений для розподілу та регулювання потоку вогнегасної речовини по рукавних лініях;

- пожежна колонка - знімний пристрій, що встановлюється на пожежний гідрант, призначений для його відкривання та закривання, а також для під'єднання пожежних рукавів;

- рукавний водозбирач – призначена для об’єднання декількох рукавних ліній в одну;

- пожежні рукава є складовою частиною пожежно-технічного оснащення та поділяються на всмоктувальні, напірно-всмоктувальні та напірні, які призначені для транспортування водних вогнегасних речовин як під розрідженням, так і надлишковим тиском;

- рукавна з’єднувальна головка – призначена для з’єднування всмоктувальних та напірно-всмоктувальних рукавів між собою та з іншим пожежним обладнанням.

3.3.2. Статистична оцінка експериментальних результатів та перевірка значимості вибраних факторів. Статистична оцінка експериментальних результатів (табл.3.18, де наведені результати досліджень, які проводились літньої пори, та табл.3.19 – зимньої) та перевірка значимості вибраних факторів: x_1 – клас оперативно-рятувального автомобіля; x_2 – рівень підготовленості рятувальників; x_3 – пора року, – для оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» першим оперативно-рятувальним підрозділом здійснювалась таким же чином, як це було зроблено для оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» (р.3.2.2), використовуючи (3.1)-(3.16).

Таблиця 3.18 – Експериментальні результати (час, с) оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від оперативно-рятувальних автомобілів різного класу літом

Спроба	Клас оперативно-рятувального автомобіля					
	Легкий		Середній		Важкий	
	Рівень підготовленості рятувальників					
	Первин-ний	Фаховий	Первин-ний	Фаховий	Первин-ний	Фаховий
1	2	3	4	5	6	7
1	54,5	51,8	70,3	65,6	73,1	74,3
2	55,0	48,4	67,9	66,1	74,8	65,6
3	56,9	48,6	70,3	72,7	72,5	70,4
4	54,3	53,6	68,4	69,5	75,5	68,6
5	57,0	46,8	69,3	70,9	73,1	72,1
6	58,2	49,7	73,0	66,8	76,3	70,3
7	57,0	51,7	67,9	70,1	70,4	71,1
8	57,0	50,9	73,6	68,8	74	67,9
9	61,5	52,7	67,9	66,1	78,7	68,2
10	59,4	55,4	71,9	63,6	73,4	70,8
11	55,9	49,9	74,0	71	72,2	72,3
12	59,1	49,5	69,2	64,8	77,7	70,5
13	56,4	47,5	67,7	64,2	76,8	68,5
14	59,1	44,6	70,5	67,3	73,2	67,5
15	56,3	48,3	69,7	70,3	76,1	69,6
16	56,3	49,4	70,3	67,5	73,4	71,7
17	59,5	45,9	73,4	66,7	74,3	69,6
18	56,0	46,5	70,7	68,3	75,6	70,5

Продовження табл. 3.18

1	2	3	4	5	6	7
19	59,4	49,5	70,3	63,9	74,5	75,5
20	55,7	48,4	71,1	62,9	74,5	71,3
t_{min}, с	54,3	44,6	67,7	62,9	70,4	65,6
t_{max}, с	61,5	55,4	74	72,7	78,7	75,5
$\bar{t}$, с	57,23	49,46	70,37	67,36	74,51	70,32
σ, с	1,92	2,68	1,99	2,79	2,00	2,31
Skos	0,48	0,39	0,42	0,18	0,23	0,27

Таблиця 3.19 – Експериментальні результати (час, с) ОР 2 від оперативно-рятувальних автомобілів різного класу зимою

Спроба	Клас оперативно-рятувального автомобіля					
	Легкий		Середній		Важкий	
	Рівень підготовленості рятувальників					
	Первинний	Фаховий	Первинний	Фаховий	Первинний	Фаховий
1	2	3	4	5	6	7
1	91,8	85,4	111,2	102,3	132,8	119,6
2	92,3	85,9	116,3	106,9	136,3	122,9
3	90,7	84,3	112,2	103,2	134,7	121,4
4	93,4	86,8	112,9	103,8	128,1	115,4
5	89,2	83	113,7	104,5	134,4	121,1
6	94	87,4	111	102,1	127,8	115
7	90,3	83,9	114,5	105,3	135,4	122
8	95,7	88,9	113	103,9	132,6	119,5
9	94,2	87,6	112,3	103,3	130,2	117,3

Продовження табл. 3.19

1	2	3	4	5	6	7
10	93,3	86,7	113,1	104	134,2	120,9
11	95,1	88,4	111,3	102,4	129,4	116,5
12	90,1	83,8	109	100,3	133,8	120,6
13	92,6	86,1	113,8	104,7	133,2	120
14	87,4	81,3	110,6	101,7	133,2	120
15	92,8	86,3	116,7	107,3	131,3	118,3
16	91,7	85,3	108,3	99,6	128,2	115,4
17	95,1	88,4	114,1	105	130,4	117,5
18	90,2	83,9	108,9	100,1	134,9	121,6
19	91,9	85,4	113,9	104,7	130,8	117,8
20	95,1	88,4	112,6	103,5	131	118
t_{min}, с	87,4	81,3	108,3	99,6	127,8	115
t_{max}, с	95,7	88,9	116,7	107,3	136,3	122,9
$\bar{t}$, с	92,35	85,86	112,47	103,43	132,14	119,04
σ, с	2,23	2,05	2,25	2,06	2,57	2,36
Skos	-0,39	-0,40	-0,11	-0,12	-0,25	-0,25

Аналіз узагальнених результатів оцінювання функції розподілу часу оперативного розгортання як літом (табл.3.20, рис.3.8), так і зимою (табл.3.21, рис.3.9), показали, що з рівнем значимості α=0,05 їх можна вважати нормальними та використовувати отримані оцінки математичних очікувань та середньоквадратичних очікувань часу оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» під час створення відповідної багатофакторної поліноміальної моделі.

Таблиця 3.20 – Узагальнені результатів оцінювання функції розподілу часу оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від оперативно-рятувальних автомобілів різного класу літом

	Клас ОРА	Рівень підготовленості	$\bar{t}$, с	σ, с	$n \cdot m_2$	S^2	$W_{табл}$	W
1	легкий	Початковий	57,23	1,92	47,25	51,19	0,905	0,923
2	середній		70,97	1,99	44,15	44,28		0,997
3	важкий		74,51	2,00	48,24	43,38		1,112
4	легкий	Фаховий	49,46	2,68	42,33	39,81		1,063
5	середній		67,36	2,79	44,18	45,41		0,973
6	важкий		70,32	2,31	47,56	40,31		1,180

Таблиця 3.21 – Узагальнені оцінки оцінювання функції розподілу часу оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від оперативно-рятувальних автомобілів різного класу зимою

	Клас ОРА	Рівень підготовленості	$\bar{t}$, с	σ, с	$n \cdot m_2$	S^2	$W_{табл}$	W
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Продовження табл. 3.21

1	легкий	Початковий	92.35	2.23	51,79	51,43	0,905	1,007
2	середній		112.47	2.25	49,68	49,58		1,002
3	важкий		132.14	2.57	47,13	50,24		0,938
4	легкий	Фаховий	85.86	2.05	48,54	49,18		0,987
5	середній		103.43	2.06	50,29	50,04		1,005
6	важкий		119.04	2.36	49,46	49,66		0,996

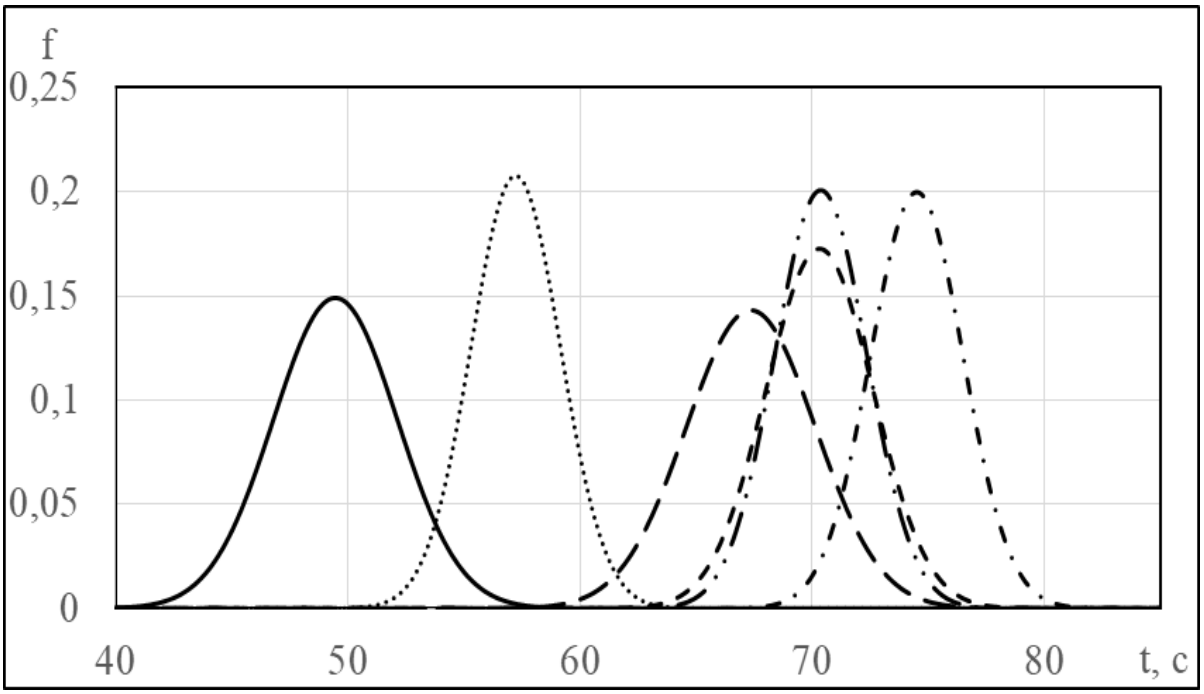

Рисунок 3.8 – Розподіли часу оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від оперативно-рятувального автомобіля літом

(——легкий клас, фаховий рівень; --------легкий клас, початковий рівень; - - - - - середній клас, фаховий рівень; -·- середній клас, початковий рівень; —·—· важкий клас, фаховий рівень; —·—·важкий клас, початковий рівень)

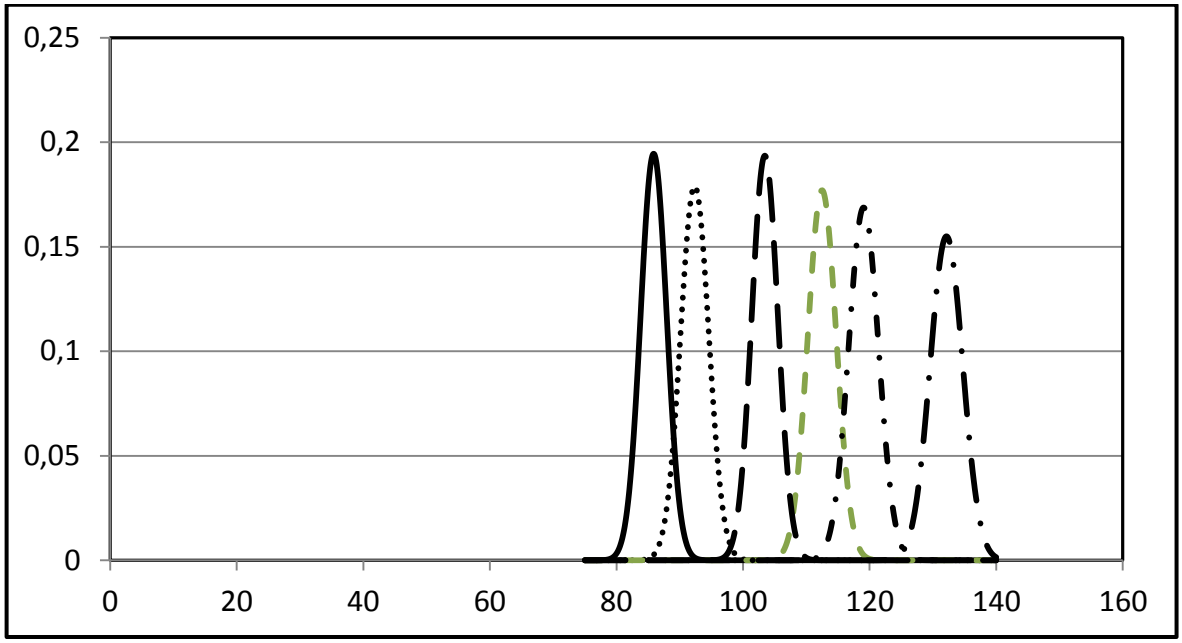

Рисунок 3.9 – Розподіли часу «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від оперативно-рятувального автомобіля зимою

(——легкий клас, фаховий рівень; --------легкий клас, початковий рівень; - - - - - середній клас, фаховий рівень; - · - середній клас, початковий рівень; — · · — · важкий клас, фаховий рівень; — · — · важкий клас, початковий рівень)

Результати порівняння того, наскільки значимо відрізняється час оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» в залежності від пори року в узагальненому вигляді наведені в табл.3.22 та табл.3.23.

Таблиця 3.22 – Порівняння показників виконання оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» за різної пори року

Рівень підготовленості рятувальників	F	$F_{кр}$	S	υ	$t_{набл}$	$t_{табл}$
Легкий клас пожежно-рятувального автомобіля						
Первинний	1,70	2,3	2,31	46	8,29	2,04
Фаховий	1,51	2,3	2,31	46	7,17	2,04
Середній клас пожежно-рятувального автомобіля						
Первинний	1,57	2,3	2,31	46	5,25	2,04
Фаховий	1,44	2,3	2,31	46	2,11	2,04
Важкий клас пожежно-рятувального автомобіля						
Первинний	1,32	2,3	2,31	46	10,49	2,04
Фаховий	1,27	2,3	2,31	46	4,18	2,04

Таблиця 3.23 – Порівняння показників виконання зимньої пори ОР 2 на оперативно-рятувальних автомобілях середнього класу з показниками виконання оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів легкого та середнього класу

Клас ПРА	Рівень підготовленості рятувальників	F	$F_{кр}$	S	υ	$t_{набл}$	$t_{табл}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Легкий	Первинний	1,52	2,3	0,57	46	7,93	2,04

Продовження табл. 3.23

1	2	3	4	5	6	7	8
Легкий	Фаховий	1,20	2,3	0,38	46	8,39	2,04
Важкий	Первинний	1,28	2,3	0,43	46	10,69	2,04
	Фаховий	1,22	2,3	0,4	46	2,11	2,04

Аналіз результатів, наведених в табл.3.22 та табл.3.23, показує, що і для цього варіанту оперативного розгортання в усіх випадках $t_{набл} > t_{табл}(\alpha = 0{,}05) = 2{,}04$, що свідчить про суттєву різницю часу оперативного розгортання за різної пори року.

Тобто, математичне очікування часу оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» першим оперативно-рятувальним підрозділом суттєво з рівнем значимості α=0,05 відрізняється не тільки в залежності від класу оперативно-рятувального автомобіля (фактор x_1), але й від рівня підготовленості особового складу (фактор x_2) та від впливу несприятливих метеорологічних чинників (фактор x_3), які суттєво ускладнюють дії оперативного розгортання пожежно-рятувальної техніки. Рівень значимості (α=0,05) отриманих експериментальних результатів дозволяє їх використання під час побудови математичної моделі оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» першим оперативно-рятувальним підрозділом.

3.3.3. Статистична оцінка другого варіанту математичної моделі («Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант»). З урахуванням вибору вихідних факторів для проведення імітаційного фізичного експерименту за планом 3х2х2 в результаті було отримано (див. табл. 3.24) дванадцять оцінок математичного очікування проведення оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» при різноманітних сполученнях рівнів, а також дванадцять відповідних середньоквадратичних відхилень. Крім цього, в табл. 3.16 в стовпчиках 7 та 8 наведені нормовані у відповідності до (3.17) значення отриманих середніх та середньоквадратичних відхилень.

Таблиця 3.24 – Результати імітаційного фізичного моделювання оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» рятувальниками першого оперативно-рятувального підрозділу

№ з/п	x_1	x_2	x_3	$\bar{t}$, с	σ_t, с	$\bar{y}'$	σ'_y
1	2	3	4	5	6	7	8
1	-1	-1	-1	132,14	2,57	1,0000	0,0311
2	-1	-1	1	74,51	2	0,3030	0,0242
3	-1	1	-1	119,04	2,36	0,8416	0,0285
4	-1	1	1	70,32	2,31	0,2523	0,0279
5	0	-1	-1	112,47	2,25	0,7621	0,0272
6	0	-1	1	70,37	1,99	0,2529	0,0241
7	0	1	-1	103,43	2,06	0,6528	0,0249

Продовження табл. 3.24

1	2	3	4	5	6	7	8
8	0	1	1	67,36	2,7	0,2165	0,0327
9	1	-1	-1	92,35	2,23	0,5187	0,0270
10	1	-1	1	57,23	1,92	0,0940	0,0232
11	1	1	-1	85,86	2,05	0,4403	0,0248
12	1	1	1	49,46	2,68	0,0000	0,0324

За отриманими результатами, використовуючи (2.11)-(2.14), були розраховані коефіцієнти трифакторної квадратичної моделі (2.10), які встановлюють кількісний зв'язок між часом оперативного розгортання (в нормованих перемінних) за варіантом, який розглядається, та обраними факторами

$$y_{OP2} = 0{,}482 - 0{,}170 \cdot x_1 - 0{,}042 \cdot x_1^2 + 0{,}005 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0{,}052 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ - 0{,}044 \cdot x_2 + 0{,}014 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0{,}\cdot 258 x_3 . \quad (3.21)$$

Наявність моделі (3.21) дозволяє отримати у відповідності до (3.19) оцінку середнього часу оперативного розгортання ОР 2 в натуральних перемінних. Як і для ОР 1 наявність результатів, отриманих як за допомогою розробленої моделі (3.21), так і натурним шляхом, дозволяє визначити достовірність оцінки розробленої математичної моделі. Для цього було перевірено укладання середнього часу оперативного розгортання ОР 1 за кожною комбінацією розглянутих факторів в довірчі інтервали (3.20), які розраховані з надійністю 0,95 за результати імітаційного фізичного моделювання за тієї ж комбінації обраних факторів.

В узагальненому вигляді отримані результати наведені в табл. 3.25.

Таблиця 3.25 – Результати перевірки достовірності математичної моделі оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» рятувальниками першого оперативно-рятувального підрозділу

№ з/п	x_1	x_2	x_3	t_{min}, с	$\bar{t}_{MM}$, с	t_{max}, с
1	2	3	4	5	6	7
1	-1	-1	-1	131,01	131,02	133,27
2	-1	-1	1	73,63	75,24	75,39
3	-1	1	-1	118,01	120,04	120,07
4	-1	1	1	69,31	71,33	71,33
5	0	-1	-1	111,48	113,42	113,46
6	0	-1	1	69,50	70,47	71,24
7	0	1	-1	102,53	103,88	104,33
8	0	1	1	66,18	6648	68,54
9	1	-1	-1	91,37	93,21	93,33
10	1	-1	1	56,39	56,96	58,07
11	1	1	-1	84,96	85,96	86,76
12	1	1	1	48,29	50,62	50,63

Аналіз результатів, що наведені в табл. 3.25, показує, що за кожною комбінації розглянутих факторів результати оцінки часу оперативного розгортання за допомогою розробленої математичної моделі (3.21) входять в довірчий інтервал, визначений з надійністю 0,95.

Таким чином, результати, які визначені за допомогою другого варіанта розробленої математичної моделі «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант», співпадають з результатами натурних експериментів

та укладаються в довірчі інтервали, які розраховані з надійністю 0,95 за критерієм Стьюдента, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

Висновки за третім розділом

1. Існуюча експериментально-випробувальна база дозволяє перевірити достовірність математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та методики, створеної на її основі.

2. Результати, які визначені за допомогою першого варіанту розробленої математичної моделі «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни», співпадають з результатами натурних експериментів та укладаються в довірчі інтервали, які розраховані з надійністю 0,95 за критерієм Стьюдента, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

3. Результати, які визначені за допомогою другого варіанта розробленої математичної моделі «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант», співпадають з результатами натурних експериментів та укладаються в довірчі інтервали, які розраховані з надійністю 0,95 за критерієм Стьюдента, що підтверджує достовірність розробленої математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ОПЕРАТИВНИХ РОЗГОРТАНЬ ПЕРШИМ РЯТУВАЛЬНИМ ПІДРОЗДІЛОМ ПІД ЧАС ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ

Перевірку оцінки ефективності застосування розробленої методики скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру будемо виконувати наступним чином. По-перше, проаналізуємо отримані багатофакторні моделі оперативного розгортання, які враховують клас оперативно-рятувального автомобіля, рівень підготовленості рятувальників та пору року. Після цього за результатами цього аналізу обґрунтуємо оперативно-технічні рекомендації у вигляді нових нормативів оперативного розгортання оперативно-рятувальних автомобілів в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Наприкінці оцінимо надійність реалізації розробленої методики.

4.1. Аналіз варіантів моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та рекомендацій, отриманих на її основі

Отримані модель (3.18) оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни»

$$y_{OP1} = 0{,}551 - 0{,}210 \cdot x_1 - 0{,}075 \cdot x_1^2 - 0{,}007 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0{,}015 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ - 0{,}057 \cdot x_2 + 0{,}0014 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0{,}\cdot 265 x_3 .$$

та модель (3.21) оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант»

$$y_{OP2} = 0{,}482 - 0{,}170 \cdot x_1 - 0{,}042 \cdot x_1^2 + 0{,}005 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0{,}052 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ - 0{,}044 \cdot x_2 + 0{,}014 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0{,}\cdot 258 x_3$$

першим оперативно-рятувальним підрозділом, в яких збережені всі оцінки коефіцієнтів достовірно відображають отримані в ході експериментальних досліджень дані, проте визначенню пропозицій повинна передувати інтерпретація (3.18) та (3.18) при наростаючому ступені ризику відкинути правильну гіпотезу [155]. При цьому значимість коефіцієнтів регресії перевіряється багатократно від рівня значимості $\alpha = 0{,}01$ до $\alpha = 0{,}5$, враховуючи під час оцінки похибок розрахунку коефіцієнтів регресії середню дисперсію вимірів.

Для цього спочатку була перевірена гіпотеза однорідності ряду дисперсій по G-критерію Кохрена [176]

$$Kh = \left(\sigma_и^2\right)_{max} \Big/ \sum_{n=1}^{n} \sigma_n^2 = \frac{0{,}0032}{0{,}0231} = 0{,}137 \quad , \qquad (4.1)$$

де $\left(\sigma_и^2\right)_{max}$ – максимальна дисперсія в ряду, що розглядається; $n = 12$ – кількість точок обраного плану 3x2x2.

Оскільки при рівні ризику $\alpha = 0{,}05$, числі ступенів свободи $f_1 = 12 - 1 = 100 - 1 = 11$ та $f = 12$ табличне значення $\sigma_{табл} = 0{,}172$, тобто $\sigma < \sigma_{табл}$, то розглянута гіпотеза допускається як правдоподібна. В результаті середня дисперсія проведених експериментальних досліджень часу ОР 1 для розроблених моделей має вид:

$$\sigma_e^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{n=1}^{n} \sigma_n^2 = \frac{1}{12} \cdot \sum_{n=1}^{12} \sigma_n^2 \approx \begin{cases} 0{,}0021 \text{ для ОР 1;} \\ 0{,}00076 \text{ для ОР 2,} \end{cases} \tag{4.2}$$

що дозволяє для розрахунку похибок коефіцієнтів регресії використовувати наступні вирази [156]

$$\sigma\{b_0\} = 0{,}5022 \cdot \sigma_e \approx \begin{cases} 0{,}014 \text{ для ОР 1;} \\ 0{,}0228 \text{ для ОР 2;} \end{cases} \tag{4.3}$$

$$\sigma\{b_i\} = 0{,}3333 \cdot \sigma_e \approx \begin{cases} 0{,}0092 \text{ для ОР 1;} \\ 0{,}0151 \text{ для ОР 2;} \end{cases} \tag{4.4}$$

$$\sigma\{b_{ij}\} = 0{,}2887 \cdot \sigma_e \approx \begin{cases} 0{,}0079 \text{ для ОР 1;} \\ 0{,}0131 \text{ для ОР 2;} \end{cases} \tag{4.5}$$

$$\sigma\{b_{ii}\} = 0{,}4082 \cdot \sigma_e \approx \begin{cases} 0{,}0112 \text{ для ОР 1;} \\ 0{,}0185 \text{ для ОР 2,} \end{cases} \tag{4.6}$$

які застосовуються для обчислювання відповідних критичних значень

$$b_{кр} = t \cdot \sigma\{b\}, \qquad (4.7)$$

де t береться по таблицям [156] при обраному рівні значимості α та числі ступенів свободи f=n=12.

В табл. 4.1 показані розраховані за (4.5) критичні значення коефіцієнтів для модел1 (3.18), а в табл. 4.2 для моделі (3.21) при $\sigma_э$=0,0019 та n= 12.

Таблиця 4.1 Критичні значення коефіцієнтів моделі (3.18)

α	0,01	0,05
t	2,771	2,052
$b_{0кр}$	0,03829185	0,02835615
$b_{i\,кр}$	0,00035118	0,00026006
$b_{ij\,кр}$	0,00000279	0,00000207
$b_{ii\,кр}$	0,00000003	0,00000002

Таблиця 4.2 Критичні значення коефіцієнтів моделі (3.21)

α	0,01	0,05
t	2,771	2,052
$b_{0кр}$	0,06314280	0,04675894
$b_{i\,кр}$	0,00095493	0,00070715
$b_{ij\,кр}$	0,00001251	0,00000926
$b_{ii\,кр}$	0,00000023	0,00000017

Отримані значення (4.7) дозволяють при кожному ріні ризику α побудувати та проаналізувати графи зв’язку між факторами. На рис. 4.1 показані такі графи при зростаючому ризику як для моделі (3.18), так і для моделі (3.21). Видно, що вже при рівні значимості α=0,01, оскільки граф для α=0,05 співпав з графом для двостороннього ризику α=0,01, можна говорити про те, що всі обрані для аналізу фактори є значущими, пов’язані між собою, а фактор x_1 (клас обраного оперативно-рятувального автомобіля) впливає на час оперативного розгортання нелінійно.

Рисунок 4.1 – Аналіз графів зв'язку між трьома факторами x_i за різного рівня відхилення правильної гіпотези (чорним кольором зафарбовані значущі лінійні ефекти, петля – значущий квадратичний ефект, ребра графа – значущими є ефекти взаємодії)

Таким чином, користування отриманими варіантами моделі без спрощення для визначення оперативно-технічних рекомендацій за результатами ранжування факторів по ступеню їх впливу на час оперативного розгортання забезпечує досягнення достовірних результатів з рівнем двостороннього ризику $\alpha = 0,05$.

4.2. Обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій у вигляді нових нормативів оперативного розгортання оперативно-рятувальних автомобілів в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Видно (рис.4.2, рис.4.3), що фактором, на які ми реально можемо вплинути, є рівень підготовленості особового складу, який найбільш сильно проявляється в зимовий час для більш простих варіантів оперативного розгортання (в нашому випадку «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни»), а для більш складних (в нашому випадку «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави

діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант») – у літній. Можна припустити, що літом необхідно приділити більше уваги тренуванню більш складних варіантів оперативного розгортання, а зимою – більш простих.

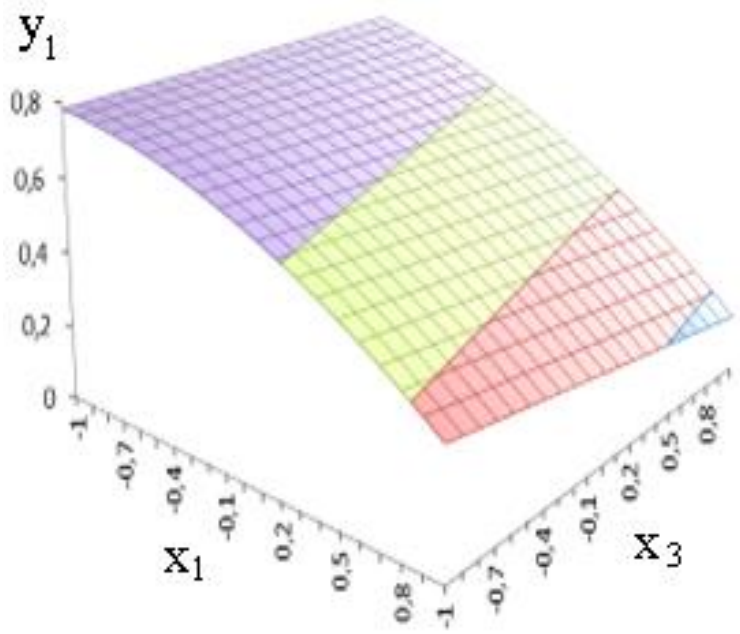

Рисунок 4.2 – Залежність (в кодованих перемінних) часу оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від типу пожежного автомобіля та пори року

Тобто, оперативно-технічні рекомендації щодо покращення підготовленості можна конкретизувати в рекомендації по підготовці із застосуванням нормативних показників, тим більше, що в р.1 було відмічено, що існуючі нормативні вимоги в ДСНС України до оперативних розгортань автоцистерн конкретизовані тільки для базової автоцистерни АЦ-40 (131) і не враховують місцеві особливості та пору року у разі використання інших оперативно-рятувальних автомобілів.

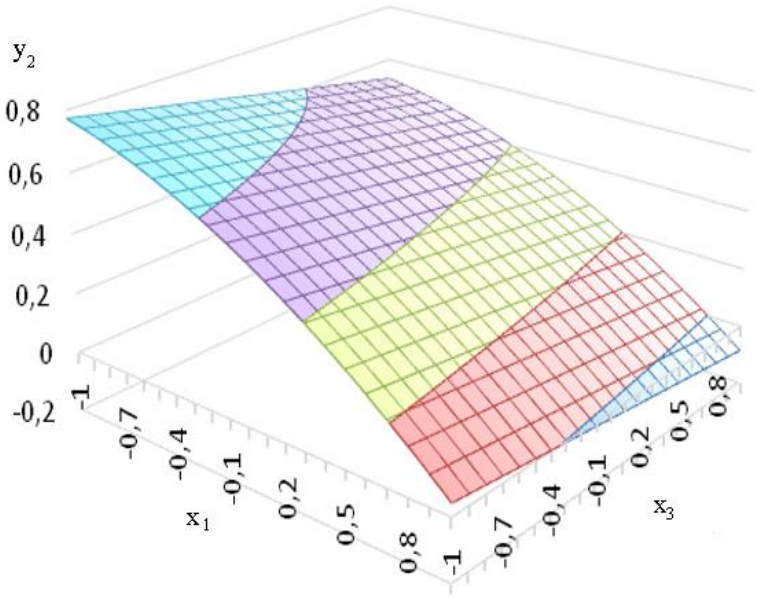

Рисунок 4.3 – Залежність (в кодованих перемінних) часу оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від типу пожежного автомобіля та пори року

Оскільки розробка нормативів має в своїй основі порівняння результатів одних випробовуваних з результатами інших випробовуваних, то порівняльні норми можуть бути побудовані шляхом віднесення відповідного відсотка розглянутого особового складу до нормативу, який він здатний виконати. З вищевикладеного випливає, що на початковому етапі розробки нормативу необхідно однозначно визначити не тільки параметри розподілу часу оперативного розгортання, так і отримати оцінки ймовірностей виконання розглянутого нормативу в заданий час. Обраним варіантом останнього є розрахунок середньозважених оцінок $\left(\hat{P}_5, \hat{P}_4, \hat{P}_3, \hat{P}_2\right)$ відповідних часток (частот) всіх можливих результатів. Ці оцінки відповідають, як це прийнято в більшості підрозділів у даний час, «відмінній», «добрій», «задовільній» або «незадовільній» оцінці.

Параметри розподілів часу оперативного розгортання наведені в табл. 3.13 для оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через

робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» та в табл. 3.21 – «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант».

Так, для подачі ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від оперативно-рятувального автомобіля легкого класу рятувальниками штатних пожежно-рятувальних підрозділів (див. 3.1) функція щільності розподілу має вигляд

$$f(t) = \frac{1}{1{,}15 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(- \frac{(t - 32{,}22)^2}{2 \cdot 1{,}15^2} \right). \quad (4.8)$$

За аналогією з підходом, який застосовується при обґрунтуванні фізкультурних нормативів, було припущено, що відмінній оцінці відповідає 10% позитивних результатів, а добрій та задовільній по 40% наступних. Тоді [157]

$$t_5 = \bar{t} + \sigma \cdot \Phi^{-1}(0{,}1) = \\ = 32{,}22 + 1{,}15 \cdot \Phi^{-1}(0{,}1) = 30{,}75 \text{ с}; \quad (4.9)$$

$$t_4 = \bar{t} + \sigma \cdot \Phi^{-1}(0{,}1 + 0{,}4) = \\ = 32{,}22 + 1{,}15 \cdot \Phi^{-1}(0{,}1 + 0{,}4) = 32{,}22 \text{ с}; \quad (4.10)$$

$$t_3 = \bar{t} + \sigma \cdot \Phi^{-1}(0{,}1 + 0{,}4 + 0{,}4) = \\ = 32{,}22 + 1{,}15 \cdot \Phi^{-1}(0{,}1 + 0{,}4 + 0{,}4) = . \\ = 33{,}69 \text{ с} \quad (4.11)$$

З урахуванням вимог кратності і запам`ятовуваності рекомендуються (див. рис. 4.4) такі нормативи

$$t_5 = 30{,}5\,\text{с}; t_5 = 32\,\text{с}; t_5 = 33{,}5\,\text{с}. \quad (4.12)$$

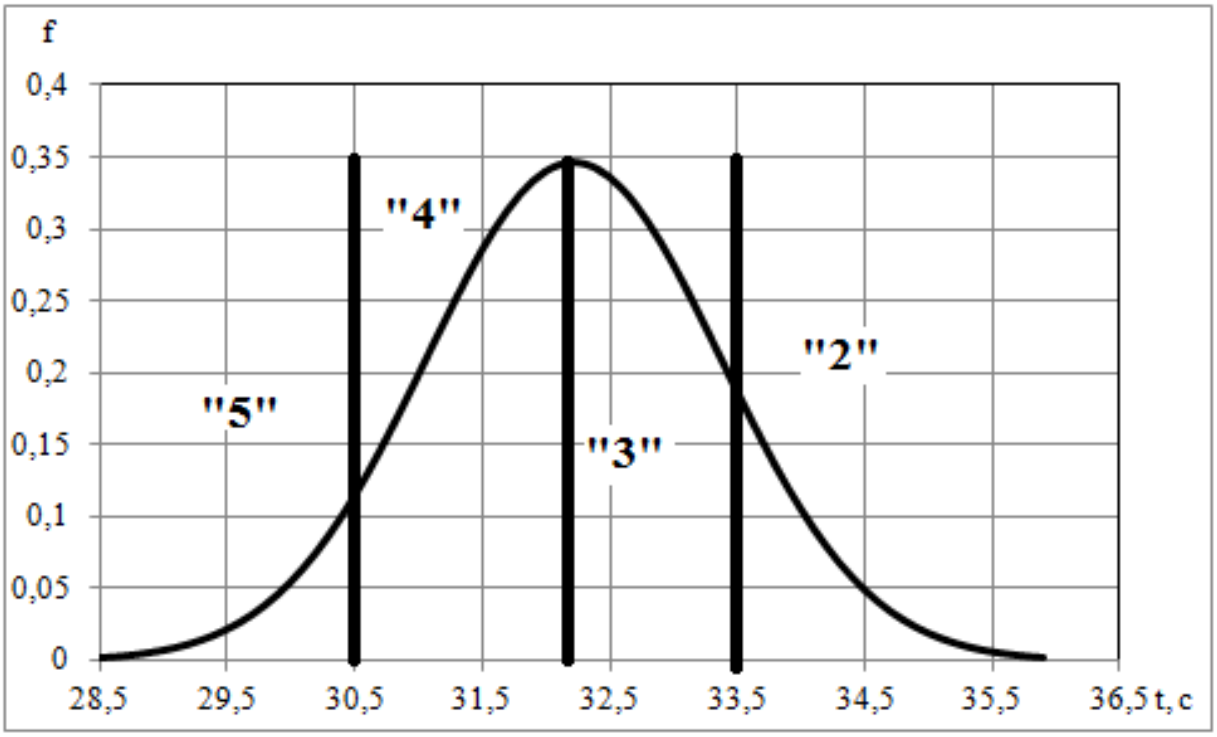

Рисунок 4.4 – Визначення нормативів для оцінювання оперативного розгортання (подачі ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм) від автоцистерни легкого класу рятувальниками штатних пожежно-рятувальних підрозділів

Аналогічним чином були визначені нормативи для оцінювання якості оперативного розгортання оперативно-рятувальних автомобілів легкого та важкого класів літом (табл.4.3) та зимою (табл.4.4).

Таблиця 4.3 – Визначення нормативів для оцінювання рівня підготовленості пожежних до оперативного розгортання автоцистерн легкого та важкого класів літньої пори року

Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни				
	АЦ легкого класу		АЦ важкого класу	
	Фаховий рівень	Початковий рівень	Фаховий рівень	Початковий рівень
1	2	3	4	5
	Розрахункові оцінки нормативу			
«5»	30,75	33,19	46,72	50,91
«4»	32,22	35,24	48,27	52,56
«3»	33,69	37,29	49,82	54,21
	Запропоновані оцінки нормативу			
«5»	30,5	33	46,5	51
«4»	32	35	48	52,5
«3»	33,5	37	49,5	54
Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант				
	Розрахункові оцінки нормативу			
«5»	46,03	54,76	69,19	72,93
«4»	49,46	57,23	72,15	75,51
«3»	52,88	59,69	75,11	78,09
	Запропоновані оцінки нормативу			
«5»	46	55	69	73
«4»	49	57	72	75
«3»	52	59	75	78

Таблиця 4.4 – Визначення нормативів для оцінювання рівня підготовленості пожежних до оперативного розгортання автоцистерн легкого та важкого класів зимньої пори року

Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни				
	АЦ легкого класу		АЦ важкого класу	
	Фаховий рівень	Початковий рівень	Фаховий рівень	Початковий рівень
1	2	3	4	5
	Розрахункові оцінки нормативу			
«5»	46,03	54,77	67,36	71,95
«4»	49,46	57,23	70,32	74,51
«3»	52,89	59,69	73,28	77,07
	Запропоновані оцінки нормативу			
«5»	46	54	67	72
«4»	49	57	70	74,5
«3»	52	60	73	77
Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант				
	Розрахункові оцінки нормативу			
«5»	83,23	89,49	116,02	128,85
«4»	85,86	92,35	119,04	132,14
«3»	88,49	95,21	122,06	135,43
	Запропоновані оцінки нормативу			
«5»	83	89	116	129
«4»	86	92	119	132
«3»	89	95	122	135

Таким чином, у якості конкретних науково-обґрунтованих рекомендацій для впровадження в повсякденну діяльність оперативно-рятувальних підрозділів для оперативно-рятувальних автоцистерн легкого та важкого класів запропоновано нові нормативи для оцінювання рівня підготовленості рятувальників, які враховують як пору року, так і їх фаховий рівень.

4.3. Оцінка надійності реалізації розробленої методики

Оцінка ефективності реалізації розроблених оперативно-технічних рекомендацій здійснювалась під час первинної підготовки рятувальників, коли у відповідності до рис.4.2 та рис.4.3 вони тренувались у виконанні оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від ОРА легкого класу зимою, а ОР «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від ОРА важкого класу – літом. Особовому складу було сказано, що вони будуть оцінюватись у відповідності до нормативів, які рекомендовані рятувальникам штатних оперативно-рятувальних підрозділів. Отримані за результатами підготовки експериментальні дані наведені в табл. 4.6 та табл. 4.7.

Наявність результатів, отриманих до реалізації запропонованих рекомендацій (наведені в табл. 3,16 в строчці 9 та в табл. 3.24 в строчці 2) та після дозволило перевірити, чи значимо відрізняються середні значення, отримані за двома незалежними вибірками (без та з використанням запропонованих нормативів). Для цього з метою вибору конкретної методики розрахунку t-критерію Стьюдента спочатку була перевірена гіпотеза про рівність дисперсій

$$H_0 : \sigma^2_{\text{до}} = \sigma^2_{\text{після}}, \tag{4.13}$$

для чого використовувався F-критерій

$$F = \sigma_1^2 \Big/ \sigma_2^2, \tag{4.14}$$

де σ_1^2 – більша з оцінок дисперсій у двох вибірках.

Таблиця 4.5 – Експериментальні результати (час, с) оперативного розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від ОРА легкого класу зимою після реалізації запропонованих оперативно-технічних рекомендацій

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t_i, с	48,5	56,2	50,7	51,0	54,5	52,0	50,1	45,8	53,2	51,2	52,7	46,0
n	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
t_i, с	49,4	50,9	48,5	49,2	49,3	52,3	50,2	49,9	52,0	48,3	48,3	52,3
$\bar{t}$, с	50,52											
σ, с	2,45											

При цьому критичне значення $F_{кр}$, яке при рівні значимості α=0,05 та числі ступенів свободи

$$\upsilon_{\text{до}} = n_{\text{до}} - 1 = 19 : \upsilon_{\text{після}} = n_{\text{після}} - 1 = 23, \tag{4.15}$$

де $n_{\text{до}} = 20$, $n_{\text{після}} = 24$ – кількість натурних експериментів по виконанню розглянутих варіантів оперативного розгортання в однакових

умовах, за результатами яких оцінювались статистичні характеристики отриманих розподілів, дорівнює

$$F_{набл} = \begin{cases} \dfrac{\sigma^2_{ОР1\,після}}{\sigma^2_{ОР1\,до}} = \dfrac{6{,}00}{3{,}69} = 1{,}68 \\ \\ \dfrac{\sigma^2_{ОР2\,після}}{\sigma^2_{ОР2\,до}} = \dfrac{6{,}30}{4{,}00} = 1{,}58 \end{cases} < F_{кр} = F_{табл} = 2{,}3. \qquad (4.16)$$

Таблиця 4.6 – Експериментальні результати (час, с) оперативного розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від ОРА важкого класу літом після реалізації запропонованих оперативно-технічних рекомендацій

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
t_i, с	68,0	71,0	65,9	68,2	67,9	76,2	72,8	71,9	70,0	72,0	68,7	72,4
n	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
t_i, с	71,7	73,9	69,5	66,2	72,4	70,7	70,1	71,1	67,7	73,1	72,8	71,3
$\bar{t}$, с	70,65											
σ, с	2,51											

Видно, що в розглянутому випадку правомірною признається нуль-гіпотеза та допускається рівність дисперсій до та після підготовки із застосуванням розроблених нормативів.

З урахуванням того, що вибірки малого розміру (<30), стандартна помилка різниці S_x та число ступенів свободи υ під час розрахунку t-критерію визначалися наступним чином

$$S_X = \sqrt{\frac{(n_{до}-1)\cdot\sigma^2_{до} + (n_{після}-1)\cdot\sigma^2_{після}}{n_{до}+n_{после}-2}\cdot\left(\frac{1}{n_{до}}+\frac{1}{n_{після}}\right)} = \tag{4.17}$$

$$= \begin{cases} 0{,}67 - \text{для ОР1} \\ \\ 0{,}69 - \text{для ОР2} \end{cases}$$

. $$\upsilon = n_{до} + n_{після} - 2 = 42. \tag{4.18}$$

В результаті

$$t_{набл} = \frac{\left|\bar{t}_{до} - \bar{t}_{після}\right|}{S_X} = \begin{cases} \dfrac{\left|\bar{t}_{ОР1до} - \bar{t}_{ОР1після}\right|}{S_X(ОР1)} \\ \\ \dfrac{\left|\bar{t}_{ОР1до} - \bar{t}_{ОР1після}\right|}{S_X(ОР1)} \end{cases} = \tag{4.19}$$

$$= \begin{cases} \dfrac{|57{,}23 - 50{,}52|}{0{,}69} = 5{,}56 \\ \\ \dfrac{|74{,}51 - 70{,}65|}{0{,}67} = 9{,}96 \end{cases} > t_{табл}(\alpha = 0{,}05) = 2{,}01.$$

Видно, що значення t-критерію $t_{набл}$ більше критичного значення t-критерію $t_{табл}$ при заданому рівні значимості α=0,05 у всіх розглянутих випадках. Тобто, скорочення часу виконання завдань за рахунок підготовки із застосуванням оперативно-технічних рекомендацій, які були розроблені у відповідності до розробленої методики, статистично значимим.

Крім цього, аналіз узагальнених результатів, що наведені в табл. 4.5

та табл. 4.6 з відповідними в табл. 3.13 (стрічка 3) та табл. 3.21 (стрічка 11) дозволив припустити, що після реалізації запропонованих оперативно-технічних рекомендацій рятувальники з початковим рівнем підготовленості досягнуть рівня фахових рятувальників. Для перевірки цього припущення у відповідності до (4.11)-(4.17) було перевірено, наскільки відрізняються результати, що були отримані після тренування рятувальників з початковим рівнем підготовленості з результатами, які були у фахових рятувальників штатних оперативно-рятувальних підрозділів. В узагальненому вигляді отримані результати наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Результати статистичної перевірки ефективності реалізації запропонованих оперативно-технічних рекомендацій

$\bar{t}_{\text{п поч}}$, с	$\sigma_{\text{п поч}}$, с	$\bar{t}_{\text{до фах}}$, с	$\sigma_{\text{до фах}}$, с	$F_{\text{набл}}$	$F_{\text{табл}}$	$t_{\text{набл}}$	$t_{\text{табл}}$
Оперативне розгортання «Подача ствола ГПС-600 через робочу лінію на три рукави діаметром 51 мм від автоцистерни» від оперативно-рятувального автомобіля легкого класу зимою							
50,52	2,45	49,46	2,00	0,67	2,3	0,85	2.01
Оперативне розгортання «Подача одного ствола «А» та одного ствола «Б» з прокладанням магістральної лінії на два рукави діаметром 77 мм та двох робочих ліній з установкою автоцистерни на пожежний гідрант» від оперативно-рятувального автомобіля важкого класу літом							
70,65	2,51	70,32	2,31	0,85	2,3	1,58	2.01

Аналіз результатів, які наведені в табл. 4.7, показує, що з рівнем значимості α=0,05 можна стверджувати, що в результаті реалізації розроблених оперативно-технічних рекомендацій час оперативного розгортання у рятувальників з початковим рівнем підготовленості буде

дорівнювати відповідному часу у рятувальників з фаховим рівнем підготовленості.

Таким чином, з рівнем значимості α=0,05, розрахованим за критерієм Стьюдента, час оперативного розгортання в результаті реалізації запропонованих оперативно-технічних рекомендацій значимо скорочується, що підтверджує ефективність застосування розробленої методики.

Висновки за четвертим розділом

1. Користування отриманими варіантами моделі без спрощення для визначення оперативно-технічних рекомендацій за результатами ранжування факторів по ступеню їх впливу на час оперативного розгортання забезпечує досягнення достовірних результатів з рівнем двостороннього ризику α=0,05.

2. У якості конкретних науково-обґрунтованих рекомендацій для впровадження в повсякденну діяльність оперативно-рятувальних підрозділів для оперативно-рятувальних автоцистерн легкого та важкого класів запропоновано нові нормативи для оцінювання рівня підготовленості рятувальників, які враховують як пору року, так і їх фаховий рівень.

3. З рівнем значимості α=0,05, розрахованим за критерієм Стьюдента, час оперативного розгортання в результаті реалізації запропонованих оперативно-технічних рекомендацій значимо скорочується, що підтверджує ефективність застосування розробленої методики.

РОЗДІЛ 5

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИКИ НА ЇЇ ОСНОВІ

5.1. Обґрунтування рекомендацій особовому складу легких та важких оперативно-рятувальних автомобілів

Оскільки існуючі нормативні документи [76] регламентують дії особового складу першого оперативно-рятувального підрозділу, який здійснює оперативні розгортання на ОРА середнього класу, важливою задачею є уточнення рекомендацій для їх дій у разі використання або тільки ОРА легкого класу, або ОРА важкого класу.

Для цього у випадку застосування ОРА важкого класу (x_1=-1) вираз (3.18), який є характерним для здійснення достатньо простих варіантів оперативного розгортання, трансформується в

$$y_{OP1} = 0{,}686 - 0{,}05 \cdot x_2 - 0{,}\cdot 28 x_3 + 0{,}0014 \cdot x_2 \cdot x_3 \,, \qquad (5.1)$$

а вираз (3.21), який є характерним для здійснення складних варіантів оперативного розгортання, в

$$y_{OP2} = 0{,}61 - 0{,}049 \cdot x_2 - 0{,}\cdot 31 x_3 + 0{,}014 \cdot x_2 \cdot x_3 \,. \qquad (5.2)$$

Порівняльний аналіз (5.1) та (5.2) показує, що як для простих, так і для складних варіантів оперативного розгортання важливим елементом є урахування погодних умов роботи особового складу, внаслідок чого

розміщення пожежно-технічного та аварійно-рятувального обладнання необхідно здійснювати таким чином, щоб їм зручно було користуватись саме осінньо-зимової пори під час проведення першочергових аварійно-рятувальних робіт, заходів щодо пошуку постраждалих та надання їм першої медичної допомоги, зв'язку та оповіщення під час ліквідації наслідків надзвичайної ситуації. Для складних варіантів ОР, враховуючи суттєво більший вплив (практично на порядок) взаємодії факторів підготовленості особового складу (x_2) та пори року (x_3), основну увагу приділити виконанню різноманітних оперативних розгортань, які вимагають комплексного використання повного комплекту аварійно-рятувального обладнання автомобіля як весняно-літньої, так і осінньо-зимової пори рятувальниками у кількості 6-10 осіб при нарощуванні зусиль з виконання найбільш трудомістких робіт, пов'язаних з ліквідацією наслідків НС природного та техногенного характеру, подій і виконання інших невідкладних робіт щодо пошуку постраждалих та евакуації постраждалих з небезпечних місць, надання їм першої медичної допомоги, ведення радіаційної і хімічної розвідки, зв'язку і сповіщення в ході ліквідації, катастроф і стихійного лиха. Наприклад, шляхом проведення тренувань з оперативних розгортань, які пов’язані з ліквідація витоків небезпечних хімічних речовин з отворів (тріщин та пробоїн) різної форми в ємностях та трубопроводах, виконання робіт у сильно загазованому середовищі (хлор, аміак тощо), небезпечному для людини. Тренування складних варіантів оперативного розгортання важких ОРА, які вимагають комплексного використання повного комплекту аварійно-рятувального обладнання автомобіля, доцільно здійснювати переважно весняно-літньої пори.

У випадку застосування ОРА легкого класу (x_1=+1) вираз (3.18), який є характерним для здійснення достатньо простих варіантів оперативного розгортання, трансформується в

$$y_{OP1} = 0{,}266 - 0{,}064 \cdot x_2 - 0{,}\cdot 25x_3 + 0{,}0014 \cdot x_2 \cdot x_3 \ , \qquad (5.1)$$

а вираз (3.21), який є характерним для здійснення складних варіантів оперативного розгортання, в

$$y_{OP2} = 0{,}27 - 0{,}039 \cdot x_2 - 0{,}\cdot 206x_3 + 0{,}014 \cdot x_2 \cdot x_3 \ . \qquad (5.2)$$

Порівняльний аналіз (5.1) та (5.2) показує, що для скорочення часу достатньо простих оперативних розгортань доцільно визначити найбільш характерні (типові) варіанти, тренуванню яких присвятити основну увагу, особливо зимою. Серед останніх доцільно виділити ОР аварійно-рятувального обладнання, яке використовується під час рятування людей, заблокованих внаслідок дорожньо-транспортних пригод, та забезпечення евакуації постраждалих із осередків надзвичайної ситуації, в тому числі з глибоких та високих об'єктів.

Як і випадку важких ОРА, тренування складних варіантів оперативного розгортання легких оперативно-рятувальних автомобілів, які вимагають комплексного використання повного комплекту аварійно-рятувального обладнання автомобіля, доцільно здійснювати переважно весняно-літньої пори.

Таким чином, для важких оперативно-рятувальних автомобілів розміщення пожежно-технічного та аварійно-рятувального обладнання необхідно здійснювати таким чином, щоб їм зручно було користуватись, в першу чергу, осінньо-зимової пори. Для легких оперативно-рятувальних автомобілів доцільно визначити найбільш характерні (типові) варіанти, тренуванню яких присвятити основну увагу, особливо зимою. Тренування складних варіантів оперативного розгортання як для важких, так і для легких оперативно-рятувальних автомобілів, які вимагають комплексного

використання повного комплекту аварійно-рятувального обладнання автомобіля, доцільно здійснювати переважно весняно-літньої пори.

5.2. Пропозиції щодо скорочення часу оперативних розгортань розрахунками неповної комплектації

Ситуація з використанням оперативних розрахунків неповної комплектації є характерною у випадку застосування ОРА середнього класу (x_1=0). В такому разі вираз (3.18), який є характерним для здійснення достатньо простих варіантів оперативного розгортання, трансформується в

$$y_{OP1} = 0{,}551 - 0{,}057 \cdot x_2 - 0{,}\cdot 265 x_3 + 0{,}0014 \cdot x_2 \cdot x_3 \ , \qquad (5.3)$$

а вираз (3.21), який є характерним для здійснення складних варіантів оперативного розгортання, в

$$y_{OP2} = 0{,}482 - 0{,}044 \cdot x_2 - 0{,}\cdot 258 x_3 + 0{,}014 \cdot x_2 \cdot x_3 \ . \qquad (5.4)$$

Оскільки під час проведення простих варіантів оперативного розгортання задіяні 2-3 рятувальники, вираз (5.3) не зміниться. Тому не варто очікувати особливостей, пов’язаних з підготовкою особового складу, урахуванням пори року, розміщенням аварійно-рятувального та пожежно-технічного обладнання, у порівнянні з визначеними в діючій нормативній та експлуатаційно-технічній документації.

Проте, для складних варіантів оперативного розгортання слід очікувати суттєвого підвищення ваги фактору підготовленості особового складу. При цьому, враховуючи позитивний коефіцієнт, який характеризує ефекти взаємодії між рівнем підготовленості рятувальників та впливом

погодних умов, тренування щодо проведення складних варіантів ОР рятувальників, що мають високий рівень підготовленості, доцільно здійснювати переважно осінньо-зимової пори року, а тих, хто має недостатній рівень – весняно-літньої.

Таким чином, скороченню часу оперативних розгортань оперативно-рятувальних автомобілів середнього класу розрахунками неповної комплектації сприятиме підготовка рятувальників, які мають високий рівень підготовленості, переважно осінньо-зимової пори року, а тих, хто має недостатній рівень – весняно-літньої.

Висновки за п’ятим розділом

1. Для важких оперативно-рятувальних автомобілів розміщення пожежно-технічного та аварійно-рятувального обладнання необхідно здійснювати таким чином, щоб їм зручно було користуватись, в першу чергу, осінньо-зимової пори. Для легких оперативно-рятувальних автомобілів доцільно визначити найбільш характерні (типові) варіанти, тренуванню яких присвятити основну увагу, особливо зимою. Тренування складних варіантів оперативного розгортання як для важких, так і для легких оперативно-рятувальних автомобілів, які вимагають комплексного використання повного комплекту аварійно-рятувального обладнання автомобіля, доцільно здійснювати переважно весняно-літньої пори.

2. Скороченню часу оперативних розгортань оперативно-рятувальних автомобілів середнього класу розрахунками неповної комплектації сприятиме підготовка рятувальників, які мають високий рівень підготовленості, переважно осінньо-зимової пори року, а тих, хто має недостатній рівень, – весняно-літньої.

ВИСНОВКИ

Вирішено актуальну науково-практичну задачу в галузі цивільного захисту – розроблено методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

При виконанні дисертаційної роботи отримані наступні висновки:

1. Аналіз особливостей проведення оперативних розгортань аварійно-рятувальних служб в провідних країнах світу в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру визначається первинною інформацією від першого рятувального підрозділу, що прибув на місце катастрофи, яка визначає вступ в дію одного з варіантів заздалегідь розробленого плану ліквідації надзвичайної ситуації. В Україні ліквідація надзвичайної ситуації проводитися відповідно до розроблених планів ліквідації надзвичайної ситуації в підрозділах об’єктового, міського і регіонального рівнів. Інформація про масштаби і особливості конкретної надзвичайної ситуації враховується в ході реалізації плану.

Тому завданням наукового дослідження є розробка оперативно-технічної методики скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, яка повинна враховувати як оперативні (рівень підготовленості особового складу та вплив надзвичайної ситуації), так і технічні умови бойової роботи.

2. Розроблено математичну модель оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру, що уявляє собою систему з чотирьох аналітичних залежностей. Перша – функціонал, який описує процес оперативного розгортання аварійно-рятувальних сил та засобів. Друга залежність дозволяє уявити цей функціонал як сукупність однофакторних моделей. Третя – забезпечує визначення вагових коефіцієнтів при вирішенні трифакторногої задачі (вид пожежно-рятувального

автомобіля, підготовка рятувальників, пора року). Четверта – дозволяє оцінити та вибрати оперативно-технічні рекомендації з ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру.

Розроблено оперативно-технічну методику скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру уявляє собою сукупність чотирьох груп дій: перша – вибір типових для проведення аварійно-рятувальних робіт першим оперативно-рятувальним підрозділом під час ліквідації (локалізації) надзвичайних ситуацій техногенного характеру оперативних розгортань пожежно-рятувальних автомобілів та їх фізичне моделювання у відповідності до плану 3х2х2 з урахуванням факторів, які характеризують клас пожежно-рятувального автомобіля, рівень підготовленості рятувальників та пору року; друга – отримання трифакторної поліноміальної моделі в нормованих перемінних, їх аналіз та спрощення з подальшим ранжуванням факторів в центрі факторного простору та на його краях; третя – експертне обґрунтування рекомендацій для впровадження; четверта – вибір і реалізація оперативно-технічних рекомендацій.

3. Результати натурних експериментів збігаються з результатами теоретичних розрахунків і вкладаються в довірчі інтервали, розраховані з надійністю 0,95, що підтверджує достовірність математичної моделі оперативного розгортання першого рятувального підрозділу під час ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру та методики, створеної на її основі.

4. Час оперативного розгортання в результаті реалізації запропонованих оперативно-технічних рекомендацій з рівням значимості 0,95, розрахованими за критерієм Стьюдента, значно скорочується, що підтверджує ефективність застосування розробленої оперативно-технічної методики скорочення часу оперативного розгортання першого рятувального підрозділу в умовах виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.

5. Пропонується розроблені методику і математичну модель використовувати як для обґрунтування оперативно-технічних рекомендацій для скорочення часу оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів в оперативно-рятувальних підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій за існуючих нормативних вимог до штатної чисельності рятувальників, так і під час підготовки особового складу в умовах неповної штатної комплектності в підрозділі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Special Report: Fire Department Preparedness for Extreme Weather Emergencies and Natural Disasters Режим доступу: https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/tr_162.pdf

2. Кодекс цивільного захисту України (зі змінами та доповненнями). Київ: Основа, 2016. 144 с.

3. Federal Emergency Management Agency Режим доступу: https://www.fema.gov

4. United Kingdom – Civil Protection Режим доступу: https://portal.cor.europa.eu/divisionpowers/Pages/UK-Civil-protection.aspx

5. Protection Civile | Fédération Nationale agréée de Sécurité. Режим доступу: https://www.protection-civile.org/

6. Bundesamt für Zivilschutz Deutschlands. Режим доступу: https://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/aufgabenundausstattung_node.html

7. National Emergency Response System. Режим доступу: https://www.publicsafety.gc.ca/cnt/rsrcs/pblctns/ntnl-rspns-sstm/index-en.aspx

8. A Service and Organizational Study of Toronto's Emergency Medical Services and Fire Services. Final Report Режим доступу: https://www.toronto.ca/legdocs/mmis/2013/ex/bgrd/backgroundfile-59903.pdf

9. San Francisco Fire Department Apparatus Inventory Режим доступу: http://ufsw.org/pdfs/apparatus_inventory.pdf

10. Гащук П.М. Загальні світові тенденції в царині проектування й виготовлення мобільної пожежно-рятувальної техніки. Північна Америка / Гащук П.М., Сичевський М.І.// Збірник наукових праць «Пожежна безпека» - №29 – 2016 – С.18-35.

11. Canadian Fire Department Profile, 2014–2016. Режимдоступу: https://www.nfpa.org//-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Emergency-responders/oscanada.pdf

12. Types of Fire Engines and How to Distinguish The Differences Between Them. Режим доступу: https://www.bmefire.com/types-of-fire-engines-and-how-to-distinguish-the-differences-between-them/

13. San Francisco Fire Department Apparatus Inventory Режим доступу: http://ufsw.org/pdfs/apparatus_inventory.pdf

14. NFPA 1500 Standard on Fire Department Occupational Safety and Health Program. 2002 Edition. Режим доступу: http://www.fsans.ns.ca/pdf/research/nfpa1500.pdf

15. Subburajah J. OSHA's Interpretation for Fire Emergency Planning. Режим доступу: https://www.linkedin.com/pulse/oshas-interpretation-fire-emergency-planning-subburajah-j

16. NFPA 1451 Standard for a Fire and Emergency Service Vehicle Operations Training Program Режим доступу: https://standards.globalspec.com/std/10265833/NFPA%201451

17. Hazardous waste operations and emergency response. Occupational Safety and Health Standards 1910.120. Режим доступу: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9765

18. Fourth Needs Assessment of the U.S. Fire Service Conducted in 2015 and Including Comparisons to the 2001, 2005, and 2010 Needs Assessment Surveys. Режим доступу: https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Emergency-responders/Needs-Assessment/OSFourthNeedsAssessment.ashx

19. OSHA 1910.120 Hazardous waste operations and emergency response. Режим доступу: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owares.do_search?p_doc_type=STANDARDS&p_search_str=1910.120

20. OSHA 1910.156 Fire brigades Режим доступу: https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.156

21. NFPA 1021, Standard for Fire Officer Professional Qualifications Режимдоступу: http://mip-co.ir/NFPA/182-NFPA%201021%20-%202003.pdf

22. NFPA 1410, Standard on Training for Initial Emergency Scene Operations, Режим доступу:http://www.niordc.ir/uploads/nfpa_1410_-_2005.pdf

23. NFPA 1001, Standard for Fire Fighter Professional Qualifications Режим доступу: https://sa5e44a321405f035.jimcontent.com/download/version/1268192963/module/3735826357/name/61ns.pdf

24. Fire and Emergency Services as a Career Режим доступу: https://www.ifsta.org/sites/default/files/fire-and-emergency-services-orientation-and-terminology-6th-ed-chapter1.pdf

25. NFPA 1710 Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppression Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Career Fire Departments. Режим доступу: https://www.como.gov/CMS/granicus/downloadfile.php?id=11785&type=attachment

26. NFPA 1720, Standard for the Organization and Deployment of Fire Suppres Operations, Emergency Medical Operations, and Special Operations to the Public by Volunteer Fire Departments.Режим доступу: http://www.niordc.ir/uploads/nfpa_1720_-_2004.pdf

27. Fire & Rescue NSW Code of Conduct. Режим доступу: http://www.fire.nsw.gov.au/page.php?id=159

28. Bullock J. A., Haddow G. D., Coppola D. P. 9-All-Hazards Emergency Response and Recovery. Homeland Security (Second Edition). 2018. P. 227-290. Режим доступу: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128044650000091

29. National Response Framework. Homeland Security. URL: https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1914-25045-1246/final_national_response_framework_20130501.pdf

30. Regulations, Policies, Redcords, And Rules. Режим доступу: https://www.firehouse.com/home/article/10540064/regulations-policies-redcords-and-rules

31. NFPA 1201 Standard for Providing Fire and Emergency Services to the Public Режимдоступу: https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1201

32. Emergency Vehicle Size and Weight Guide Prepared by the FEMA Technical Committee Режим доступу: https://www.fama.org/wp-content/uploads/2017/12/1514564588_5a466bec19c41.pdf

33. U.S. fire statistics Режим доступу: https://www.usfa.fema.gov/data/statistics/

34. Needs Assessment of the U.S. Fire Service. Режим доступу: https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/fa-303-508.pdf

35. Virginia Fire Service Needs Assessment. Режим доступу: http://www.vafire.com/content/uploads/2017/04/2016-Needs-Assesment.pdf

36. NFPA 1901, Standard for Automotive Fire Apparatus. Режим доступу https://www.nfpa.org/assets/files/AboutTheCodes/1901/1901-A2003-rop.PDF

37. Virginia Fire Server Needs Assessment. Режим доступу: http://www.vafire.com/content/uploads/2017/04/2016-Needs-Assesment.pdf

38. Efficient fire fighting with Bronto F22RL aerial platform. Режим доступу: https://brontoskylift.com/efficient-fire-fighting-with-bronto-f22rl/

39. NFPA 1906, Standard for Wildland Fire Apparatus .Режим доступу: https://niordc.ir/uploads/nfpa_1906_-_2006.pdf

40. Canadian Fire Department Profile - NFPA report. Режим доступу: https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Emergency-Responders/Canada-Fire-Department-Profile

41. Fire Departments |C.A.F.I. Режим доступу: https://www.cafi.ca/content/fire-departments

42. Fire Stations. Режим доступу: https://www.hamilton.ca/emergency-services/fire/fire-stations

43. Fire Apparatus – United States vs. Europe Режим доступу: https://www.fireapparatusmagazine.com/2016/06/07/fire-apparatus-united-states-vs-europe/#gref

44. Custom fire apparatus. Режим доступу: https://www.toyne.com/ fire-apparatus/

45. Ferrara Fire Apparatus. Режим доступу: https://www.ferrarafire.com/category/pumpers/

46. Rapid response vehicles: The answer to downsizing fire apparatus. Режим доступу: https://www.firerescue1.com/fire-products/fire-apparatus/articles/rapid-response-vehicles-the-answer-to-downsizing-fire-apparatus-Bo2XJbnsFRivswRt/

47. More Departments Choose Smaller Fire Apparatus to Handle Typical Runs. Режим доступу: https://www.fireapparatusmagazine.com/2017/12/20/more-departments-choose-smaller-fire-apparatus-to-handle-typical-runs/#gref

48. NFPA 1071 Standard for Emergency Vehicle Technician Professional Qualifications. Режим доступу: https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1071

49. Minimum Standards for Firefighting Personnel Режим доступу: http://www.dhses.ny.gov/ofpc/documents/standards/Part426LawBook.pdf

50. Training Related Risk Factors of Firefighters. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/320545566_Training_Related_Risk_Factors_of_Firefighters

51. Framework for the competence of rescue and fire fighting service (RFFS) personnel Режим доступу: https://publicapps.caa.co.uk/docs/33/CAP699E3Jan2017(BM). pdf

52. Training for failure in the united states fire service. Режим доступу: https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/64038/19Dec_O%27Neal_David.pdf?sequence=1&isAllowed=y

53. Review of Emergency Responder Standard Operating Procedures. Режим доступу: https://www.nfpa.org//-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Emergency-responders/RFReviewOfEmergencyResponderSOPSOGs.pdf

54. Study of the Fire Service Training Environment: Safety and Fidelity in Concrete Live Fire Training Buildings. Режим доступу: https://ulfirefightersafety.org/docs/UL_Concrete_Report_Final.pdf

55. Physical limit values. Режим доступу: https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26289.pdf

56. Refinery Explosions Raise New Warnings About Deadly Chemical. Режим доступу: https://www.npr.org/2019/07/19/742367382/refinery-explosions-raise-new-warnings-about-deadly-chemical

57. Crosby, Texas, Chemical Plant Explodes Twice, Arkema Group Says. Режим доступу: https://www.nbcnews.com/storyline/hurricane-harvey/harvey-danger-major-chemical-plant-near-houston-likely-explode-facility-n797581

58. Multi-part Document BS EN 1846 - Firefighting and rescue service vehicles. Режимдоступу: https://doi.org/10.3403/BSEN1846

59. BS EN 1846-2:2009+A1:2013 Firefighting and rescue service vehicles. Common requirements. Safety and performance. Режим доступу: https://doi.org/10.3403/30233210

60. Die 20 größten Feuerwehren in Deutschland. Режим доступу: http://www.feuerwehrleben.de/die-groessten-feuerwehren-in-deutschland/

61. Gavin P. Horn. Firefighter and fire instructor’s physiological responses and safety in various training fire environments./ Gavin P. Horn, Jacob W. Stewart, Richard M. Kesler, Jacob P. DeBloisSteve Kerber, Kenneth, W. Fent, William S. Scott, Bo Fernhall, Denise L. SmithFahy, // Applied Ergonomics- 2018 -№116 pp.28-41 Режим доступу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753518318253

62. Булкаиров А.Б. Опыт подготовки пожарных и спасателей в европейских странах. / Булкаиров А.Б.,Бабич В.Е.//Научный журнал «Вестник Кокшетауского технического института министерства по чрезвычайным ситуациям республики Казахстан» -2013.-№ 4(12)-С. 12-18

63. Уколов А.В. О системе подготовки специалистов пожарно-спасательных служб США, Великобритании и России / Уколов А.В., Лагунов А.Н., Жернаков Д.В. // «Международный научный журнал «инновационная наука» - №3 – 2016 – С. 199-203.

64. Зарубежный опыт подготовки пожарных. Режим доступу: https://cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnyy-opyt-podgotovki-pozharnyh /viewer

65. Gesetz vom über das Feuerwehrwesen im Bundesland Salzburg Режим доступу: https://www.salzburg.gv.at/00201lpi/ 15Gesetzgebungsperiode/6Session/122.pdf

66. Die Finanzierung der Feuerwehr in den Bundesländern. Режим доступу: https://www.bundestag.de/resource/blob/418068/ 2eb00e9004fc3d9ffb00282ed5a06313/WD-3-321-08-pdf-data.pdf

67. Feuerwehr in Deutschland. Режим доступу: https://de.wikipedia.org/wiki/Feuerwehr_in_Deutschland

68. Magirus – Brandschutztechnik .Режим доступу: https://www.magirusgroup.com/de/de/home/

69. Statistiken zur Feuerwehr in Deutschland. Режим доступу:https://de.statista.com/statistik/daten/studie/760509/umfrage/feuerwehren-in-deutschland/

70. Brandschutz-Statistiken – Zahlen zum Brandschutz. Режим доступу: https://www.feuertrutz.de/statistiken/158/8567/

71. Deutsche Feuerwehr. Режим доступу: https://www.local.gov.uk/sites/default/files/documents/W1.1%20%20Fire%20Service%20in%20Germany%20-%20Dr%20Christoph%20Weltecke.pdf

72. German fire services. Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/German_fire_services

73. Potsdam Fire Department Режим доступу: https://www.feuerwehr-potsdam.de/index_en.htm

74. Berlin Fire Department https://www.berlinfire.org/

75. Brandschutzbedarfsplan Der Gemeinde Kreuza. Режим досупу: https://kreuzau.de/bsbp_2018.pdf

76. Fatal explosion hits BASF’s Ludwigshafen Режим доступу: https://cen.acs.org/articles/94/i42/Fatal-explosion-hits-BASFs-Ludwigshafen.html

77. BASF Faces Prolonged Shut-Down After Chemical Site Explosion Режим доступу: https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-10-17/basf-reports-explosion-at-its-biggest-site-in-ludwigshafen

78. Human error responsible' for deadly Bad Aibling train crash - sourcesHuman error responsible' for deadly Bad Aibling train crash – sources. Режим доступу: https://www.euronews.com/2016/02/09/several-killed-as-commuter-trains-collide-in-germany

79. Germany train crash: Several killed near Bavarian town of Bad Aibling Режим доступу: https://www.bbc.com/news/world-europe-35530538

80. Les statistiques des services d'incendie et de secours Режим доступу: https://www.interieur.gouv.fr/Publications/Statistiques/Securite-civile/2018

81. Es statistiques des services d’incendie et de secours pour l’année Режим доступу: https://www.pompiers.fr/actualites/les-statistiques-des-services-dincendie-et-de-secours-pour-lannee-2017-edition-2018

82. Les statistiques des services d'incendie et de secours Режим доступу: https://www.interieur.gouv.fr/content/download/1479/15341/file/StatsSDIS11_INSIS.pdf

83. Les sapeurs-pompiers en France en chiffres clés. Режим доступу: https://www.pompiers.fr/pompiers/nous-connaitre/chiffres-cles

84. Organisation des sapeurs-pompiers en France. Режим доступу: https://www.pompiers.fr/pompiers/nous-connaitre/organisation-des-sapeurs-pompiers-en-france

85. Véhicules des sapeurs-pompiers Режим доступу: https://www.pompiers.fr/pompiers/nous-connaitre/vehicules-des-sapeurs-pompiers

86. Véhicules des sapeurs-pompiers. Режим доступу: https://www.pompiers.fr/pompiers/nous-connaitre/vehicules-des-sapeurs-pompiers

87. Les pompiers de Paris en chiffres. Режим доступу: https://www.pompiersparis.fr/fr/presentation/les-pompiers-de-paris-en-chiffres

88. Explosions et "coulée de lave d'hydrocarbures" : le chef des pompiers raconte la nuit infernale à Lubrizol. Режим доступу: https://www.franceinter.fr/societe/explosions-et-coulee-de-laves-d-hydrocarbures-le-chef-des-pompiers-raconte-la-nuit-infernale-a-lubrizol

89. UK Fire and Rescue Services. Режим доступу: https://www.nationalfirechiefs.org.uk/Fire-and-Rescue-Services

90. Emergency services in the United Kingdom - Statistics & Facts Режим доступу: https://www.statista.com/topics/5102/emergency-services-in-the-uk/#dossierSummary__chapter2

91. Detailed analysis of fires attended by fire and rescue services, England, April 2018 to March 2019 Режим доступу: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/831136/detailed-analysis-fires-attended-fire-rescue-england-1819-hosb1919.pdf

92. Fire & rescue incident statistics, England, year ending December 2019 Режим доступу: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/884271/fire-and-rescue-incident-dec19-hosb1120.pdf

93. Integrated Risk Management Plan in Suffolk Режим доступу: https://www.suffolk.gov.uk/assets/fire-rescue-and-emergencies/about-suffolk-fire-and-rescue-service/IRMP-plan-2019-22.pdf

94. Response Vehicle Fleet Cheshire Режимдоступу: https://www.cheshirefire.gov.uk/about-us/vehicles

95. Яковенко Ю.Ф. Концептуальные подходы к созданию и технические основы создания пожарных автомобилей. / Яковенко Ю.Ф., Яковенко К.Ю.// Пожаровзывобезопастность -2003.-№2-С.58-63

96. Feuerwehrfahrzeuge. Режим доступу: https://www.empl.at/feuerwehr/

97. Fire service deployment: Assessing Community Vulnerability. Режим доступу: https://www.nfpa.org/~/media/files/membership/member-sections/metro-chiefs/urbanfirevulnerability.pdf?la=en

98. Яковенко Ю.Ф. Шасси современных пожарных автомобилей / Яковенко Ю.Ф., Яковенко К.Ю. // Пожаровзрывобезопасность - № 1 – 2004 – С. 50-58.

99. Apparatus Supplement: North American vs. European Apparatus Режим доступу: https://www.firehouse.com/apparatus/article/12327628/north-american-vs-european-apparatus-fire-apparatus-innovations

100. Creating a Mission-Capable Fleet. Режим доступу: https://www.fireapparatusmagazine.com/2016/10/07/creating-a-mission-capable-fleet/#gref

101. International Concepts in Fire Protection. Practices from Japan, Hong Kong, Australia and New Zealand by Philip S. Режим досту-пу: http://strategicfire.org/wp-content/uploads/2015/04/tri-data-global-concepts-1985.pdf

102. Fire Service Act. Режим доступу: https://www.global-regulation.com/law/japan/277205/fire-service-act.html

103. Performance efficiency and resource allocation strategy for fire department with the stochastic consideration Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/249921365_Performance_efficiency_and_resource_allocation_strategy_for_fire_department_with_the_stochastic_consideration

104. An analysis on the optimum location of fire department based on ambulance dispatch situation—A case study in Utsunomiya City Режим доступу: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2475-8876.12144

105. Fire service in Japan. Режим доступу: http://www.kaigai-shobo.jp/pdf/Fire_Service_jpn.pdf

106. Emergency Response by Japanese Fire Service Organizations Режим доступу: http://www.kaigai-shobo.jp/pdf/Emergency Response_by_Japanese.pdf

107. Tokyo Fire Department. Режим доступу: https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/ts/soubi/car/index.html

108. Emergency response management in Japan. Режим доступу: https://www.adrc.asia/aboutus/vrdata/finalreport/2011A_AZE_Emin_FRR.pdf

109. Zuo-fu Yu. Fire and Rescue Combat Technical Training System Construction for Dangerous Chemicals./ Zuo-fu Yu, Jia-lin Guan // Procedia

Engineering- №135-2016 pp. 655-660. Режим доступу: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816001375

110. Performance efficiency and resource allocation strategy for fire department with the stochastic consideration Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/249921365_Performance_efficiency_and_resource_allocation_strategy_for_fire_department_with_the_stochastic_consideration

111. 3000 people ordered to evacuate after fire breaks out at Wakayama Prefecture oil refinery Режим доступу: https://www.japantimes.co.jp/news/2017/01/22/national/3000-local-residents-urged-evacuate-fire-breaks-wakayama-prefecture-oil-plant/

112. Fire at Nippon Steel & Sumikin Factory in Kawasaki near Haneda Airport Режим доступу: https://www.afpbb.com/articles/-/3058175?pid=16357998

113. Firefighter Rehab – FEMA режим доступу: https://www.fema.gov/media-library-data/1449782201051-3ac48cdc67062edd0d8ff94483ee6d23/cert_firefighterrehab_ppt.pdf

114. Challenges to fighting fire in the snow https://www.firerescue1.com/fire-products/firefightingtools/articles/4-challenges-to-fighting-fire-in-the-snow-QtSZ21U4VrOYF6W6/

115. The Challenges of Fire Operations in Extreme Cold Режим доступу: https://www.fireengineering.com/2019/10/03/479319/the-challenges-of-fire-operations-in-extreme-cold/#gref

116. The Seasonal Nature of Fires Режим доступу https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/fa-236.pdf

117. Tips for Wintertime Firefighting Operations Режим доступу https://www.firehouse.com/safety-health/article/10457581/tips-for-wintertime-firefighting-operations-firefighter-training-education

118. Fire Department Management and Liability Issues Режим доступу: https://www.lmc.org/wp-content/uploads/documents/Fire-Department-Management-and-Liability-Issues.pdf

119. Winter Weather Safety and Survival Режим доступу https://www.weather.gov/oun/safety-winter-windchill

120. Simulation of working conditions by maximum work load on firefighters Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/6239945_Simulation_of_working_conditions_by_maximum_work_load_on_firefighters

121. Firefighters: feeling the heat - Fabienne Scandella Researcher, European Trade Union Institute. Режим доступу: https://www.etui.org/Publications2/Guides/Firefighters-feeling-the-heat

122. Evaluation of Fire Service Training Fires. Режим доступу: https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Emergency-responders/RFEvaluationofFireServiceTraining.ashx

123. Fire and Emergency Service Personnel Knowledge and Skills Proficiency. Режим доступу: https://www.nfpa.org//-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Emergency-responders/RFFEMSProficiency.pdf

124. Evaluation of Fire Flow Methodologies. Режим доступу: https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Emergency-responders/RFEvaluationofFire FlowMethodologies.ashx?la=en

125. Игнатьев А.Л. Особенности организации тушения пожаров в условиях низких температур. / Игнатьев А.Л. // Электронный научный журнал «Арктика и Север»-2011.- № 3-С 162-168. Режим доступу: http://www.arcticandnorth.ru/upload/uf/d2d/AaN_2011_3.pdf

126. Fire Protection Handbook Режим доступу: https://tocanthike.files.wordpress.com/2015/10/nfpa-fire-protection-handbook-2008-20th-edition.pdf

127. Fire service deployment. Режим доступу http://www.frcfr.org/files/news/52/FireVulnerability.pdf

128. Features of the organization fighting fires at low temperatures Режим доступу https://narfu.ru/upload/iblock/8ca/mbwsrrzqgqfprsjtwbrrcq%20likziilcgmqtlrziqkglez%20uoirueszlbewgn%20cpnzkadzskkmjj%20ip%20enzzakluhqvhqpxh.pdf

129. Subburajah J. OSHA's Interpretation for Fire Emergency Planning. Режим доступу: https://www.linkedin.com/pulse/oshas-interpretation-fire-emergency-planning-subburajah-j

130. Command concerns for wintertime firefighters Режим доступу http://www.withthecommand.com/2003-Nov/PA-PP-winter.htm&prev=search

131. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2019 року Режим доступу: https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/103179.html

132. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2019 році Режим доступу: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit_2019/zvit-2019-dsns.pdf

133. Аналітична довідка щодо організації реагування на надзвичайні події, пов’язані з пожежами, в Україні за 2008÷2017 роки – УкрНДІЦЗ Київ 2018.

134. Наказ МНС України від 26.04.2018 року № 340 "Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж"

135. Гуліда Е. М. Встановлення часу оперативного розгортання пожежно-рятувальних підрозділів для ліквідації пожежі в умовах міста / Е. М. Гуліда, Д. П. Войтович // Зб. Наукових праць «Проблеми пожежної безпеки». – Вип. 37. – Харків: НУЦЗ України, 2015. – С. 47-55

136. Звіт про НДР «Провести дослідження та розробити проект типажу пожежних автомобілів на 2012-2016 роки» - УкрНДІЦЗ № Держреєстрації 0111U004210. Київ. – С. 325

137. Присяжнюк В.В. Аналіз сучасного стану парку пожежних і пожежно-рятувальних автомобілів в України та ефективності дій пожежно-рятувальних підрозділів / Присяжнюк В.В., Якіменко М.Л., Кухарішин С.Д. // Науковий вісник УкрНДІПБ - №1(27) – 2013 – С. 68-74

138. Гуліда Е. М. Встановлення часу оперативного розгортання пожежно-рятувальних підрозділів для ліквідації пожежі в умовах міста / Е. М. Гуліда, Д. П. Войтович // Зб. Наукових праць «Проблеми пожежної безпеки» - Харків: НУЦЗ України. 2015 - № 37 С. 47-55.

139. Подгрушный А.В. Реализация тактических возможностей отделений на автоцистернах при тушении пожаров. / Подгрушный А.В. // Материалы XII науч.-техн. конф. "Системы безопасности" – 2003 - С.306-313.

140. Войтович Д. П. Підвищення ефективності функціонування пожежно-рятувальних підрозділів в процесі ліквідації пожежі / Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.02 / Д.П. Войтович – Львів: ЛДУ БЖД, 2011. – 20 с.

141. Присяжнюк В.В. До питання створення пожежних автомобілів в Україні / Присяжнюк В.В., Якіменко М.Л., Кухарішин С.Д. // Науковий вісник УкрНДІПБ - №1(27) – 2013 – С. 75-81.

142. Белюченко Д.Ю. Порівняльний аналіз виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах різного класу / Стрілець В.М.,

Белюченко Д.Ю. , Іванов Є.В.// Проблемы пожарной безопасности.-2017. - № 43 - С.168-177.

143. Belyuchenko D.Analysis of the influence of the time of the year on the operational deployment of fire truck tanks of different class / Belyuchenko D., Maksymov A., StreletcV.// Problems of Emergency Situations. – 2019. - №2 (30) -С. 42-53.

144. Стрелец В.М. Особенности представления исходных данных для моделирования пожаротушения на станциях метрополитена с помощью аппарата Е-сетей / В.М. Стрелец, В.Г. Иванов, П.Ю. Бородич // Проблемы пожарной безопасности: сб. нучн. тр. – Харьков: Фолио, 2003. – Вып.14. – С.177-182.

145. Стрелец В.М. Применение экспертного метода для непосредственной оценки результатов деятельности / В.М. Стрелец // Информационные системы: сб. науч. тр. НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – Вып. 2(10). – Х., 1998. – С.165-168.

146. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.

147. Стрелец В.М. Раскрытие закономерностей выполнения основных операций боевого развертывания пожарных автомобилей / В.М. Стрелец //Системи озброєння і військова техніка. – Харків. – 2015. – Випуск 2 (42). – С.173-175

148. Стрелец В.М. Экспертная оценка операций развертывания специальных автомобилей / В.М. Стрелец // Вестн. Харьк. гос. автомобильно-дорожного тех. ун-та: сб. науч. тр. – Вып. 9. – Х., 1998.- С.39-41

149. Наказ МНС України 07.05.2007 р. № 312 «Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України»

150. Наказ МВС України №1470 від 22.11.2015 «Про затвердження Нормативів виконання навчальних вправ з підготовки осіб рядового і начальницького складу служби цивільного захисту та працівників Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України до виконання завдань за призначенням»

151. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений – Главная редакция физико-математической литературы издательства "Наука", 1971. – 576 с

152. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения : ГОСТ Р ИСО 5479-2002. – [Действующий от 2002-07-01]. Москва : Госстандарт России, 2002. – 31 с. – (Государственные стандарты России).

153. Халафян, А.А. STATISTICA 6 Статистический анализ данных [Текст] / А.А. Халафян. – М.: 000 «Бином-Пресс», 2007. — 512 с.

154. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок - М.: Статистика, 1974. – 264 с.

155. Стрелец В.М. Имитационное моделирование работы звена газодымозащитной службы пожарной охраны / В.М. Стрелец // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – Вип.1(5). – Х., 1999. – С.158-161.

156. Стрелец В.М. Предложения по расчету времени работы в АСВ при проведении аварийно-спасательных работ в метрополитене / В.М. Стрелец // Техносферная безопасность. – Екатеринбург. – 2014. – № 3 (4) –С. 61-64.

157. Белюченко Д.Ю. Оцінка ефективності виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах легкого та тяжкого класу з використанням нормативів /Белюченко Д.Ю.// Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст. – 2018. – №146 - С. 151-156.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографія:

1. **Beliuchenko D.**, Burmenko A., Loboichenko V., Maxsymov A. Specifics of the multivariate simulation evaluation of the system “rescuer – emergency equipment – emergency” functioning. *International Science Group. – Boston: Primedia e Launch,* 2020. P.211-215. Available at: DOI: 10.46299/isg.2020.MONO.TECH.I

Особисто здобувачем розроблено математичну модель оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

2. Стрілець В.М., **Белюченко Д.Ю.**, Іванов Є.В. Порівняльний аналіз виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах різного класу. *Проблемы пожарной безопасности*. Харків, 2017. Вип.43. С. 168-177. (Стаття у міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, Google Scholar).

Особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки

3. **Белюченко Д.Ю.**, Дейнеко Н.В., Сошинський О.І., Стрілець В.М. Обґрунтування нормативів для оцінювання оперативних розгортань на нових пожежних автомобілях різного класу. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2018, №142. С. 137-144. (Стаття у міжнародних наукометричних базах Google Scholar, World Cat, Directory of Open Access Journals, Index

Copernicus International).

Особисто здобувачем зроблені пропозиції щодо впровадження отриманих результатів

4. **Белюченко Д.Ю.** Оцінка ефективності виконання оперативних розгортань на пожежних автоцистернах легкого та тяжкого класу з використанням нормативів. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2018, №146. С. 151-156.(Стаття у міжнародних наукометричних базах Google Scholar, World Cat, Directory of Open Access Journals, Index Copernicus International).

Здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів

5. **Belyuchenko D.**, Maksymov A., StreletcV. Analysis of the influence of the time of the year on the operational deployment of fire truck tanks of different class. *Problems of Emergency Situations*.Kharkiv, 2019. - №2 (30) -Pp. 42-53. (Стаття у міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, Google Scholar).

Особисто здобувачем розроблено математичну модель оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

6. **Белюченко Д.Ю.**, Стрілець В.М. Багатофакторна оцінка ефективності оперативного розгортання пожежних автомобілів в умовах виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: Технічні науки та архітектура*. 2020, №156. С. 204-211.(Стаття у міжнародних наукометричних базах Google Scholar, World Cat, Directory of Open Access Journals, Index Copernicus International).

Особисто здобувачем розроблено методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час

ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Стрілець В.М., Стецюк Є.В., Іванов Є.В., **Белюченко Д.Ю.**Розробка науково-методичного апарату обґрунтування нормативів для оцінювання рівня підготовки особового складу підрозділів ОРС ЦЗ. *Стратегії реформування організації цивільного захисту*. Науково-практична конференція, м. Київ, 16 травня 2018 року. Київ: ІДУЦЗ, 2018. С. 277-279. (Форма участі – заочна).

Особисто здобувачем розроблено методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

8. **Белюченко Д.Ю.**, Белоножка А.А. Исследования сокращения времени оперативного развертывания спасательной техники пожарно-спасательного подразделения. *Стратегії реформування організації цивільного захисту*. Науково-практична конференція, м. Київ, 16 травня 2018 року.Київ: ІДУЦЗ, 2018. С. 27-29. (Форма участі – заочна).

Особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки

9. **Белюченко Д.Ю.**, Стрілець В.М.Особливості оперативних розгортань на пожежних автоцистернах різного класу. *Сучасний стан цивільного захисту та перспективи розвитку*. 20 Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Київ, 9-10 жовт.2018 року. Київ, 2018. С. 37-39.(Форма участі-очна).

Особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки

10. Стрілець В.М., **Белюченко Д.Ю.**Аналіз оперативних розгортань на автоцистернах різного класу пожежно-рятувального підрозділу.*Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту*.

Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, м. Харків, 10-11 квітня 2019 року. Харків. НУЦЗУ, 2019. С. 7-8.(Форма участі – заочна).

Здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів

11. Стрілець В.М., **Белюченко Д.Ю.** Проблемні питання оперативного розгортання сучасних енергоефективних пожежних автоцистерн. *Енергозбереження та безпека професії: виклики та можливості*. ІІ Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 4–5 червня 2019 року. Київ, 2019. С. 305-310. (Форма участі – очна).

Особисто здобувачем зроблені пропозиції щодо впровадження отриманих результатів

12. **Белюченко Д.Ю.,** Стрілець В.М. Особливості впливу метеорологічних чинників на оперативні розгортання пожежних автоцистерн. *Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах*. 21 Всеукраїнська науково-практичної конференція, м. Київ, 8 жовтня 2019 року. Київ ІДУЦЗ, 2019. – С. 29-31. (Форма участі – очна).

Здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів

13. **Белюченко Д.Ю.** Визначення залежності проведення оперативного розгортання пожежних автоцистерн від пори року. *Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика.* Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 21-22 листопада 2019 року. Харків НУЦЗУ. 2019. С.13-14.(Форма участі – очна).

Здобувач приймав участь у проведенні експериментів та обробці отриманих результатів

14. Стрілець В.М., **Белюченко Д.Ю.** Особливості виконання оперативних розгортань на основних пожежних-рятувальних автомобілях різного класу. *Пріоритетні напрямки розвитку науки*. ІІ Міжнародна

науково-практична конференція, м. Львов, 25-26 листопада 2019 року. Львів, 2019. С. 236-239. (Форма участі – очна).

Особисто здобувачем розроблено математичну модель оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів першим оперативно-рятувальним підрозділом в процесі ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

15. **Белюченко Д.Ю.**, Стрелец В.М. Особенности оперативного развертывания пожарных автоцистерн, связанные с временем года. *Безопасность человека и общества: совершенствование системы реагирования и управления защитой от чрезвычайных ситуаций*. III Международная научно-практическая конференция, г. Минск 29 ноября 2019 года. Минск Университет гражданской защиты министерства по чрезвычайным ситуациям республики Беларусь. 2019. С. 106-107. (Форма участі – заочна).

Особисто здобувачем виконано аналіз особливостей оперативного розгортання аварійно-рятувальної техніки

16. **Белюченко Д.Ю.**, Стрелец В.М. Многофакторная оценка эффективности оперативного развертывания основных пожарных автомобилей при ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера. *Наука, суспільство, освіта: актуальні питання та перспективи розвитку.* VIII міжнародна науково-практична конференція. Харків, 5-7 липня 2020 р. С. 106-107. (Форма участі – заочна).

Особисто здобувачем розроблено методику скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру

ДОДАТОК Б

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Заступник начальника Головного управління з реагування на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України у Харківській області
Анатолій ТОРЯНИК
«10» Сергіна 2020 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційного дослідження на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук БЕЛЮЧЕНКА Дмитра Юрійовича

Комісія у складі голови – начальника управління реагування на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України у Харківській області полковника служби цивільного захисту ТУНІКА Євгена Анатолійовича та членів: заступника начальника управління – начальника відділу ГУ ДСНС України у Харківській області полковника служби цивільного захисту Бєлая Олега Володимировича та заступника начальника ОКЦ з питань оперативного реагування ГУ ДСНС України у Харківській області полковника служби цивільного захисту Сергієнка Олексія Васильовича, склала цей акт про те, що в Головному управлінні ДСНС України у Харківській області впроваджені наступні результати дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук здобувача БЕЛЮЧЕНКА Дмитра Юрійовича:

- рекомендації щодо скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру;
- пропозиції щодо вдосконалення практичних занять з особовим складом пожежно-рятувальних підрозділів із застосуванням розроблених здобувачем нормативних показників для оцінювання рівня підготовленості рятувальників.

Це сприяло вдосконаленню у особового складу пожежно-рятувальних підрозділів ГУ ДСНС України у Харківській області знань, вмінь та навичок, які є необхідними для забезпечення ефективного та безпечного проведення оперативних розгортань пожежно-рятувальних автомобілів під час ліквідації надзвичайних ситуацій.

Голова комісії _____ Євген ТУНІК

Члени комісії: _____ Олег БЄЛАЙ

_____ Олексій СЕРГІЄНКО

ЗАТВЕРДЖУЮ
Начальник Деснянського РУ
ГУ ДСНС України у м. Києві
ІВАН РУЩАК
«20» серпня 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційного дослідження на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук БЕЛЮЧЕНКА Дмитра Юрійовича

Комісія у складі: голови – заступника начальника управління – начальника відділу реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків Деснянського районного управління Головного управління ДСНС України у м. Києві полковника служби цивільного захисту ВАСЮКА Вячеслава Миколайовича та членів: начальника 19–ДПРЧ ГУ ДСНС України у м. Києві майора служби цивільного захисту ЩЕРБАКА Ігоря Миколайовича та головного фахівця відділу реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків Деснянського районного управління Головного управління ДСНС України у м. Києві майора служби цивільного захисту ФРАНКА Михайла Михайловича встановила, що результати дисертаційного дослідження, одержані БЕЛЮЧЕНКОМ Д.Ю. у вигляді рекомендацій щодо скорочення часу оперативного розгортання пожежно-рятувальної техніки під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру впроваджені у практичну діяльність Деснянського районного управління ДСНС України у м. Києві під час проведення практичних занять в пожежно-рятувальних підрозділах.

Це сприяло вдосконаленню у особового складу районного управління знань, вмінь та навичок, які є необхідними для забезпечення ефективного та безпечного проведення оперативних розгортань пожежно-рятувальних автомобілів.

Даний акт не є підставою для отримання премій та інших винагород.

Голова комісії _____ Вячеслав ВАСЮК

Члени комісії: _____ Ігор ЩЕРБАК

_____ Михайло ФРАНКО

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор Національного університету цивільного захисту України
з навчальної та методичної роботи
кандидат психологічних наук, професор,
заслужений працівник освіти України

Олег НАЗАРОВ
«____» _____2020 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження за темою «Методика скорочення часу оперативного розгортання першим рятувальним підрозділом в умовах надзвичайних ситуацій техногенного характеру» Белюченка Дмитра Юрійовича в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України

Комісія у складі голови – начальника навчально-методичного центру кандидата технічних наук, доцента полковника служби цивільного захисту Морозова Андрія Івановича та членів: начальника факультету оперативно-рятувальних сил кандидата психологічних наук, старшого наукового співробітника полковника служби цивільного захисту Олійникова Олексія Анатолійовича та начальника кафедри пожежної та рятувальної підготовки кандидата технічних наук, доцента полковника служби цивільного захисту Ковальова Павла Анатолійовича склала цей акт про те, що в Національному університеті цивільного захисту України впроваджені наступні результати дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук здобувача Белюченка Дмитра Юрійовича:

- методика скорочення часу оперативних розгортань першим рятувальним підрозділом під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру використовується на практичних заняттях з дисципліни

пожежно-рятувальної та загально фізичної підготовки, під час яких відбуваються оперативні розгортання оперативно-рятувальної техніки;

– закономірності оперативного розгортання пожежно-рятувальних автомобілів під час ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру у вигляді розроблених здобувачем нормативних показників для оцінювання рівня підготовленості рятувальників.

Впровадження отриманих результатів сприяє вдосконаленню у курсантів знань, вмінь та навичок практичної складової, які є необхідними для забезпечення ефективного та безпечного проведення аварійно-рятувальних робіт особовим складом пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України.

Голова комісії
канд. техн. наук, доцент Андрій МОРОЗОВ

Члени комісії:

канд. псих. наук, ст.наук.співр. Олексій ОЛІЙНИКОВ

канд. техн. наук, доцент Павло КОВАЛЬОВ